

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЬЖИЦЬКОГО
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА КАРПАТСЬКОГО
РЕГІОНУ**

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ТИРУСЬ МАРІЯ ЛЬВІВНА

УДК 582.661.21:[631.53.01:631.51:631](292.485)(1-15)

ДИСЕРТАЦІЯ

**АГРОБІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ
ПРОДУКТИВНОСТІ АМАРАНТУ В УМОВАХ ЛІСОСТЕПУ ЗАХІДНОГО**

06.01.09 - рослинництво

Подається на здобуття наукового ступеня доктора сільськогосподарських наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело
_____ М. Л. Тирус

Дубляни – 2025

АНОТАЦІЯ

Тирусь М.Л. Агробіологічні особливості формування продуктивності амаранту в умовах Лісостепу західного. - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора сільськогосподарських наук за спеціальністю: 06.01.09 - рослинництво. – Інститут сільського господарства Карпатського регіону НААН України, Оброшине, 2025.

У дисертаційній роботі наведено теоретичне узагальнення і нове вирішення наукової проблеми, що стосується встановлення комплексу оптимальних агротехнологічних заходів вирощування амаранту, спрямованих на забезпечення максимальної продуктивності та високих якісних показників зерна, в умовах Лісостепу західного за достатнього вологозабезпечення на темно-сірому опідзоленому легкосуглинковому ґрунті.

Встановлено, що тривалість вегетаційного періоду амаранту визначалася сортовими особливостями. Підвищення норм мінеральних добрив, особливо азотних, подовжувало вегетацію у сорту Лера на 2-20 днів, у сорту Ультра – на 2-15 днів.

Агрометеорологічні умови проведення досліджень мали вплив на формування продуктивності досліджуваних сортів амаранту. Між кількістю опадів та висотою стебла встановлено тісний кореляційний зв'язок ($r = 0,70...0,84$), з довжиною волоті ($r = 0,54...0,77$), але виявлено сильний зворотний вплив на масу насіння однієї рослини ($r = -0,83...-0,92$). Температурний режим демонстрував пряму залежність з висотою рослин ($r = 0,17...0,39$), довжиною волоті ($r = 0,30...0,57$) та масою зерна з рослини ($r = 0,72...0,84$).

Встановлено, що польова схожість насіння амаранту мала сильну негативну кореляцію з інтенсивністю мінерального живлення ($r = -0,99$). При найвищій нормі добрив $N_{200}P_{80}K_{160}$ показник польової схожості знизився відносно контрольного варіанту на 7 % і становив 45 %. Оптимальні умови для отримання високої польової схожості на рівні 74-79 % створювалися за сівби на

глибину 1-2 см. У літні місяці склалися найкращі кліматичні умови для швидких та дружних сходів насіння амаранту. Показник польової схожості зростав із підвищенням температури повітря ($r = 0,95$) і був найвищим у червні-липні – 73-76 %.

Доведено, що між густотою посіву та виживаністю рослин амаранту існував дуже сильний зворотний зв'язок ($r = -0,97$). Найкращу виживаність 86 % продемонструвала норма висіву 0,2 млн/га схожих насінин. Найсприятливіші умови росту і розвитку для рослин амаранту сорту Харківський 1 склалися за норми мінеральних добрив $N_{120}P_{40}K_{80}$, за якої виживаність становила 57 % та густина рослин на час збирання – 20 рослин/м².

Установлено, що елементи структури врожаю мають ключовий вплив на врожайність амаранту. Висота рослини досліджуваних сортів мала позитивний вплив ($r = 0,63$) на рівень урожайності зерна амаранту, тоді як між довжиною волоті та урожайністю спостерігався зворотний зв'язок середньої сили ($r = -0,36$). Найбільший вплив на врожайність мала маса насіння з рослини ($r = 0,99$).

В умовах Лісостепу західного на темно-сірому опідзоленому легкосуглинковому ґрунті найвищу врожайність зерна (4,03 т/га) серед семи досліджуваних сортів амаранту отримано у сорту Харківський 1. Найменша урожайність формувалась у сорту Ультра (1,97 т/га), що менше порівняно з сортом Харківський 1 на 2,06 т/га.

Експериментально доведено, що застосування мінеральних добрив в умовах достатнього зволоження Лісостепу західного забезпечувало значний приріст урожайності амаранту. На контролі рівень урожайності сорту Харківський 1 становив 2,31 т/га, а за найвищої норми добрив $N_{200}P_{80}K_{160}$ зріс на 2,57 т/га до рівня 4,88 т/га. Найбільш ефективними добрива були на другому і третьому варіантах із нормами $N_{40}P_{20}K_{40}$ і $N_{80}P_{40}K_{80}$, про що свідчить найвищий приріст урожайності (0,67 і 0,56 т/га) відносно попереднього варіанту. Найбільший вплив на урожайність мали азотні добрива. Внесення додатково N_{40} на варіантах з нормою добрив $N_{80}P_{40}K_{80}$ та $N_{160}P_{80}K_{120}$ призвело до подальшого

зростання рівня урожайності на 0,41 т/га та 0,34 т/га порівняно з попередніми варіантами.

Встановлено, що урожайність зерна амаранту змінювалась під впливом норм висіву. Найвищу врожайність отримано в амаранту сорту Харківський 1 з нормою висіву 0,4 млн/га – 4,63 т/га. Оптимальні норми висіву для сортів амаранту встановлено такі: Харківський 1, Лера і Студентський – 0,4-0,6 млн/га; сорт Сем – 0,6-0,8 млн/га; сорт Ацтек – 0,6-1,0 млн/га; сорт Ультра – 0,8-1,2 млн/га.

Експериментально доведено вплив строків сівби на продуктивність амаранту. Пізніші строки сівби (після 30 травня) негативно впливали на формування елементів структури врожаю амаранту сорту Лера. Маса насіння з рослини (21 г) була найбільшою за сівби 30 квітня. Встановлено, що оптимальні строки сівби амаранту сорту Лера в умовах Лісостепу західного припадають на 30 квітня, врожайність зерна становила 3,62 т/га. Допустимі строки знаходяться в діапазоні від 15 квітня до 15 травня.

Встановлено вплив способів сівби на продуктивність амаранту сорту Лера. Доведено, що в умовах достатнього зволоження Лісостепу західного найвищі показники густоти рослин (23-24 рослин/м²), довжини волоті (68 см), маси 1000 зерен (0,90-0,92 г) та біологічна урожайність (4,06-4,09 т/га) зерна амаранту сорту Лера формувались за сівби з шириною міжрядь 15 см і 30 см. Найбільша маса насіння з однієї рослини (17,8 г) спостерігалась при сівбі з міжряддями 45 см. За досліджуваних способів сівби врожайність була близькою за значенням, але сівба з вузькими міжряддями забезпечувала рівномірніше розміщення рослин. Незважаючи на різні відстані між рядками (15, 30 чи 45 см), урожайність насіння амаранту була майже однаковою – в діапазоні 3,92-3,97 т/га. Максимальної врожайності (3,97 т/га) було досягнуто за міжряддя 30 см, після чого відбувалося поступове зниження врожайності, з особливо помітним спадом при міжрядді 60 см.

Оптимальна глибина загортання насіння амаранту в умовах достатнього зволоження західного Лісостепу становить 2 см, рівень урожайності становив

3,88 т/га. Сівба глибше 3 см призводить до різкого зменшення врожайності на 39-58 % і є недоцільною.

Доведено, що всі досліджувані гербіциди Бетанал Макс Про, Штефам, Гезагард, Команд, Карібу, Лонтрел Гранд були ефективні щодо контролю бур'янів, але внаслідок стресового впливу також на рослини амаранту спричинювали зменшення його врожайності на 0,40-1,37 т/га. Найвища врожайність амаранту формувалась на варіанті без використання гербіцидів з біологічними методами боротьби з бур'янами – 3,21 т/га. На варіантах з використанням гербіцидів вищу урожайність (2,81 т/га) забезпечив досходовий гербіцид Гезагард за норми внесення 2 л/га.

Встановлено ефективність застосування фунгіцидних препаратів на початку фази бутонізації, що містять у своєму складі дві діючі речовини – з групи триазолів та стробілуринів. За роки досліджень найвищу ефективність продемонстрували фунгіциди Амістар Екстра 28 % к.с. з урожайністю 3,87 т/га та приростом відносно контрольного варіанту 9,94 %, та Аканто Плюс 28 % к.с., з урожайністю 3,83 т/га та приростом 8,81 %. Усі досліджувані інсектицидні препарати мали високу ефективність щодо захисту від попелиць та хрестоцвітих блішок. Найвища технічна ефективність спостерігалась на варіантах з внесенням інсектицидів Енжіо 24,7 % к.с., відповідно 85,8 % та 87,6 %, та Актара 2,5 % в. г. - 84,5 % та 86,2 %. Для знищення слимаків в агроценозах амаранту ефективним є використання моллюскоцидів з діючими речовинами метальдегід та метіокарб (меркаптодіметур).

Встановлено, що найвищий вміст білку був у сортів Харківський 1 та Ацтек – відповідно 19,2 % та 19,0 %. Найвищий вміст олії був у сорту Ацтек – 8,2 %. Вихід олії з 1 га був найвищим у сорту Харківський 1 завдяки високій врожайності насіння, незважаючи на те, що за вмістом олії цей сорт поступався сорту Ацтек. Вміст сквалену серед досліджуваних сортів коливався в межах 6,0-7,5 %. Найвищим вмістом 7,5 % відзначився сорт Харківський 1. За результатами кореляційно-регресійного аналізу встановлено, що максимальний вміст сквалену досягається при високих значеннях урожайності, вмісту білку та олійності.

Доведено, що під впливом мінеральних добрив вміст білку у зерні амаранту сорту Харківський 1 зростає. Якщо на варіанті без добрив він становив 16,2 %, то на фонах $N_{200}P_{80}K_{120}$ та $N_{200}P_{80}K_{160}$ підвищився до 18,9 %, що на 2,7 % більше від контролю. Вміст олії менше залежав від норми добрив і змінювався в інтервалі від 7,5 до 8,0 %. За збільшення норми добрив до $N_{200}P_{80}K_{160}$ її вміст підвищився до 8,0 %, або на 0,5 % порівняно з варіантом без добрив.

Встановлено, що всі сорти амаранту мали найбільше лінолевої кислоти (40,2-51,8 %), олеїнової (25,6-37,1 %) та пальмітинової (17,6-19,2 %). Серед сортів вищий вміст лінолевої кислоти був у сортів Ацтек (51,8 %), Ультра (49,6 %) та Лера (47,1 %). Найбільшим вмістом олеїнової кислоти характеризувались сорти Харківський 1 (37,1 %), Студентський (36,7 %) та Сем (35,8 %).

Науково обґрунтовано, що використання вегетативної маси високорослих сортів амаранту (Студентський, Лера, Харківський 1) вирощених без застосування мінеральних добрив, в якості сидератів дозволяє, підвищувати рівень родючості ґрунту, внаслідок повернення значної кількості NPK (355 - 432 кг/га). Тоді, коли за використання норми мінеральних добрив $N_{200}P_{80}K_{120}$, в ґрунт повертається від 145,2 до 421,0 кг азоту, 59,7-162,2 кг фосфору та 450,4-939,1 кг калію залежно від досліджуваного сорту. Найбільша кількість NPK надходила в ґрунт з вегетативною масою сорту амаранту Харківський 1.

Встановлено, що амарант характеризується високим винесенням з ґрунту радіонуклідів та важких металів з урожаєм. Найвищий коефіцієнт накопичення у зерні амаранту спостерігався по Th^{232} , який складав 1,33, а серед важких металів – Cu (4,9). У вегетативній масі амаранту найвищий коефіцієнт накопичення спостерігався по Th^{232} , який складав 4,3. Серед важких металів найвищим коефіцієнтом накопичення у вегетативній масі виявлено по Zn (3,3).

Економічна ефективність комплексного використання агротехнологічних заходів забезпечила високий рівень рентабельності при вирощуванні сорту Харківський 1 – 149 %. Зростання чистого прибутку відзначено у варіантах з високими нормами мінеральних добрив, а саме: 70813 грн/га – при використанні

норми удобрення $N_{200}P_{80}K_{120}$, порівняно з контролем. За показниками енергетичної ефективності більш доцільно застосовувати помірні норми мінеральних добрив $N_{80}P_{40}K_{80}$ і $N_{120}P_{40}K_{80}$, що забезпечували найкращий баланс між енергоємністю та енергетичним коефіцієнтом. Максимальну продуктивність забезпечила норма мінерального удобрення $N_{200}P_{80}K_{160}$: урожайність становила 4,88 т/га за енергетичного коефіцієнту 2,78.

Ключові слова: амарант, польова схожість, виживаність рослин, елементи структури врожаю, параметри сівби, сортові особливості, густота рослин, мінеральне удобрення, система захисту рослин, продуктивність, врожайність, якісні показники зерна, сидеральне добриво, вегетативна маса, економічна ефективність, енергетична ефективність.

ABSTRACT

Tyrus M.L. Agrobiological features of amaranth productivity formation in the Western Forest-Steppe. - Qualification scientific work (manuscript).

Dissertation for the degree of Doctor of Agricultural Sciences in the speciality: 06.01.09 - Crop Production. - Institute of Agriculture of the Carpathian Region of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Obroshyne, 2025.

The dissertation presents a theoretical generalization and a new solution to the scientific problem of establishing a set of optimal agrotechnological measures for amaranth cultivation, aimed at ensuring maximum productivity and high grain quality indicators in western forest-steppe conditions with sufficient moisture supply on dark grey, podzolized, light loamy soil.

Varietal characteristics influence the duration of the amaranth growth season. An increase in mineral fertiliser rates, especially nitrogen fertilisers, prolonged the growing season by 2-20 days for the Lera variety and by 2-15 days for the Ultra variety.

The agro-meteorological conditions during the research period influenced the productivity of the amaranth varieties studied. Precipitation and stem height ($r = 0.70-0.84$), and precipitation and panicle length ($r = 0.54-0.77$) were found to be closely correlated, although there was a strong inverse effect on the seed weight of a single

plant ($r = -0.83$ to -0.92). The temperature regime showed a direct dependence on plant height ($r = 0.17-0.39$), panicle length ($r = 0.30-0.57$), and grain weight per plant ($r = 0.72-0.84$).

The intensity of mineral feeding was shown to be strongly negatively correlated with the field germination of amaranth seeds ($r = -0.99$). At the highest fertiliser rate of $N_{200}P_{80}K_{160}$, the field germination rate decreased by 7 % compared to the control variant, amounting to 45 %. Optimal conditions for high field germination at 74-79 % were created when sowing at a depth of 1-2 cm. The summer months provided the best climatic conditions for the rapid and uniform germination of amaranth seeds. The field germination rate increased with rising air temperature ($r = 0.95$) and was highest in June and July, at 73-76 %.

It has been demonstrated that a robust inverse correlation ($r = -0.97$) exists between sowing density and amaranth plant survival. The best survival rate of 86 % was achieved with a sowing rate of 0,2 million seeds/ha of similar seeds. The most favourable conditions for the growth and development of amaranth plants of the Kharkivskiyi 1 variety were achieved with a mineral fertiliser rate of $N_{120}P_{40}K_{80}$, at which survival was 57 % and plant density at harvest was 20 plants/m².

It has been established that harvest structural elements have a key influence on amaranth yield. The height of the plants of the studied varieties had a positive effect ($r = 0.63$) on the grain yield of amaranth, while a moderate inverse correlation was observed between panicle length and yield ($r = -0.36$). The most significant influence on yield was exerted by the weight of seeds per plant ($r = 0.99$).

In the western forest-steppe on dark grey, podzolized, light loamy soil, the highest grain yield (4.03 t/ha) among the seven studied amaranth varieties was obtained with the Kharkivskiyi 1 variety. The lowest yield was obtained from the Ultra variety (1,97 t/ha), which is 2.06 t/ha less than the Kharkivskiyi 1 variety.

Experimental results have shown that applying mineral fertilisers under adequate moisture conditions in the western forest-steppe leads to a substantial rise in amaranth yield. In the control group, the yield of the Kharkivskiyi 1 variety was 2.31 tons per hectare. With the highest fertilizer rate of $N_{200}P_{80}K_{160}$, it increased to 4.88 t/ha, a

2.57 t/ha increase. The most effective fertilisers were those in the second and third variants, with rates of $N_{40}P_{20}K_{40}$ and $N_{80}P_{40}K_{80}$, as evidenced by the highest yield increases (0.67 and 0.56 t/ha) relative to the previous variant. Nitrogen fertilisers had the most significant impact on yield. The additional application of N_{40} in the variants with fertiliser rates of $N_{80}P_{40}K_{80}$ and $N_{160}P_{80}K_{120}$ resulted in a further increase in yield of 0.41 t/ha and 0.34 t/ha, respectively, compared to the previous variants.

It has been stated that amaranth grain yield varies depending on sowing rates. The highest yield was obtained for the Kharkivskiyi 1 amaranth variety with a sowing rate of 0.4 million seeds/ha, yielding 4.63 tonnes per hectare. The optimal sowing rates for amaranth varieties were established as follows: Kharkivskiyi 1, Lera, and Studentskiyi – 0.4-0.6 million seeds/ha; Sem variety – 0.6-0.8 million seeds/ha; Aztec variety – 0.6-1.0 million seeds/ha; Ultra variety – 0.8-1.2 million seeds/ha.

The influence of sowing dates on amaranth productivity has been experimentally proven. Later sowing dates (after May 30) had an adverse effect on the formation of the structural elements in the Lera amaranth crop. The seed weight per plant (21 g) was highest when sown on 30 April. With a grain yield of 3.62 t/ha, it has been determined that the best time to sow the Lera amaranth variety in the Western Forest-Steppe is April 30. Acceptable dates are from April 15 to May 15.

The influence of sowing methods on the productivity of the Lera amaranth variety has been established. It has been proven that due to sufficient moisture in the western forest-steppe, the highest indicators of plant density (23-24 plants/m²), panicle length (68 cm), 1000-grain weight (0.90-0.92 g) and biological yield (4.06-4.09 t/ha) of Lera amaranth grain were achieved when sowing with row spacing of 15 cm and 30 cm. The highest seed weight per plant (17.8 g) was observed when sowing with 45 cm row spacing. Among the sowing methods studied, the yield was similar in value, but sowing with narrower row spacing ensured a more uniform distribution of plants. Despite the varying distances between rows (15, 30, or 45 cm), the yield of amaranth seeds was nearly the same, ranging from 3.92 to 3.97 t/ha. The maximum yield (3.97 t/ha) was achieved with a row spacing of 30 cm, after which there was a gradual decrease in yield, with a particularly noticeable decline at a row spacing of 60 cm.

The optimal depth for sowing amaranth seeds in the western forest-steppe, provided sufficient moisture is available, is 2 cm, yielding 3.88 t/ha. Sowing deeper than 3 cm results in a sharp decrease in yield, ranging from 39 % to 58 %, and is not recommended.

It has been proven that all the herbicides studied, including Betanal Max Pro, Stefam, Gezagard, Komand, Karibu, and Lontrel Grand, were effective in controlling weeds. However, due to their stressful effect on amaranth plants, they also caused a decrease in yield by 0.40-1.37 t/ha. The highest amaranth yield was obtained in the variant without the use of herbicides, utilizing biological methods of weed control – 3.21 t/ha. In the variants using herbicides, the highest yield (2.81 t/ha) was achieved with the pre-emergence herbicide Gezagard at a rate of 2 l/ha.

The effectiveness of fungicides containing two active ingredients – from the triazole and strobilurin groups – has been established during the budding phase. Over the years of research, the fungicide Amistar Extra 28 % suspension concentrate demonstrated the highest effectiveness with a yield of 3.87 t/ha and an increase of 9.94% relative to the control variant, and Akanto Plus 28 % suspension concentrate, with a yield of 3.83 t/ha and a rise of 8.81 %. All insecticides studied were highly effective in protecting against aphids and cruciferous fleas. The highest technical efficiency was observed in the variants with the application of insecticides: Engio 24.7 % suspension concentrate (85.8 % and 87.6 %, respectively), and Aktara 2.5 % water-dispersible granules (84.5 % and 86.2 %). To destroy slugs in amaranth agrocenoses, it is effective to use molluscicides with the active ingredients metaldehyde and methiocarb (mercapto dimethoate).

It was stated that the highest protein content was in the Kharkivskiyi 1 and Aztec varieties – 19.2 % and 19.0 %, respectively. The highest oil content was found in the Aztec variety, at 8.2 %. The oil yield per hectare was highest in the Kharkivskiyi 1 variety, primarily due to its high seed yield, despite having a lower oil content compared to the Aztec variety. The squalene content among the studied varieties ranged from 6.0 to 7.5 %. The highest content of 7.5 % was found in the Kharkivskiyi 1 variety. According to the results of correlation and regression analysis, it was

established that the maximum squalene content is achieved at high values of yield, protein content, and oil content.

It has been demonstrated that the protein content of Kharkivskiyi 1 amaranth grain increased when mineral fertilizers were applied. While it was 16.2 % in the variant without fertilisers, it increased to 18.9 % in the $N_{200}P_{80}K_{120}$ and $N_{200}P_{80}K_{160}$ variants, which is 2.7 % more than in the control. The oil content was less dependent on the fertilizer rate, varying between 7.5 % and 8.0 %. With an increase in the fertilizer rate to $N_{200}P_{80}K_{160}$, its content increased to 8.0%, or by 0.5 % compared to the variant without fertilizers.

It was found that all amaranth varieties had the highest content of linoleic acid (40.2-51.8 %), oleic acid (25.6-37.1 %), and palmitic acid (17.6-19.2 %). Among the varieties, the highest linoleic acid content was found in the Aztec (51.8 %), Ultra (49.6 %), and Lera (47.1 %) varieties. The highest oleic acid content was found in the Kharkivskiyi 1 (37,1 %), Student (36,7 %), and Sem (35,8 %) varieties.

Scientific evidence has demonstrated that the use of vegetative mass from tall amaranth varieties (Studentskiy, Lera, Kharkivskiyi 1) grown without the use of mineral fertilizers as green manure allows for an increase in soil fertility due to the return of a significant amount of NPK (355-432 kg/ha). When using the mineral fertiliser rate $N_{200}P_{80}K_{12}$, 145,2 to 421,0 kg of nitrogen, 59,7 to 162,2 kg of phosphorus, and 450.4 to 939.1 kg of potassium are returned to the soil, depending on the variety studied. The most significant amount of NPK entered the soil with the vegetative mass of the Kharkivskiyi 1 amaranth variety.

It has been established that amaranth is characterized by its high removal of radionuclides and heavy metals from the soil with harvest. The highest accumulation coefficient in amaranth grain was observed for Th^{232} , which was 1.33, and among heavy metals, Cu (4.9). In the vegetative mass of amaranth, the highest accumulation coefficient was observed for Th^{232} , which was 4.3. Among heavy metals, the highest accumulation coefficient in the vegetative mass was found for Zn (3.3).

The economic efficiency of comprehensive agrotechnological measures ensured a high level of profitability in cultivating the Kharkivskiyi 1 variety – 149 %. An

increase in net profit was observed in variants with high rates of mineral fertilizers, namely 70,813 UAH/ha, when using the fertilizer rate $N_{200}P_{80}K_{120}$, compared to the control. In terms of energy efficiency, it is more expedient to use moderate rates of mineral fertilisers $N_{80}P_{40}K_{80}$ and $N_{120}P_{40}K_{80}$, which provide the best balance between energy intensity and energy coefficient. The maximum productivity was achieved with the mineral fertiliser rate $N_{200}P_{80}K_{160}$, yielding 4.88 t/ha with an energy coefficient of 2.78.

Keywords: amaranth, field germination, plant survival, harvest structural elements, sowing parameters, varietal characteristics, plant density, mineral fertilisation, plant protection system, productivity, yield, grain quality indicators, green manure, vegetative mass, economic effectiveness, energy efficiency.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у виданнях, що індексуються в міжнародних наукометричних базах Skopus і Web of Science:

1. **Tyrus, M., & Lykhochvor, V.** (2021). Yield of Amaranth (*Amaranthus*) depending on the cultivar in the conditions of Ukrainian Western Forest-Steppe. *Scientific Horizons*, 24 (10), 43-51. [https://doi.org/10.48077/scihor.24\(10\).2021.43-51](https://doi.org/10.48077/scihor.24(10).2021.43-51) (Scopus, WoS (Q3)) (Ідея роботи, планування і проведення досліджень, узагальнення результатів, підготовка до друку).
2. **Tyrus M., Lykhochvor V. & Hnativ P.** (2023): Amaranth: a multi-purpose crop for war-torn land, *International Journal of Environmental Studies*, Volume 80, Issue 2, 497-506. <https://doi.org/10.1080/00207233.2023.2178207> (Scopus, WoS (Q2)) (Ідея роботи, планування і проведення досліджень, узагальнення результатів, підготовка до друку).
3. **Tyrus, M., Lykhochvor, V., Dudar, I., Stefaniuk, S., Andrushko, O.** Amaranth yield depending on the sowing rate. *Scientific Horizons*, 2023. Vol. 26, No. 8. P. 33-42. <https://doi.org/10.48077/scihor8.2023.33> (Scopus, WoS (Q3)) (Ідея роботи, планування і проведення досліджень, узагальнення результатів, підготовка до друку).
4. **Tyrus M., Lykhochvor V.** Yielding capacity of amaranth grain (*Amaranthus hypochondriacus*) depending on fertilizers. *Journal of Central European Agriculture* 2022, 23 (4) p. 800-806. DOI: <https://doi.org/10.5513/JCEA01/23.4.3528> (Scopus (Q3)) (Ідея роботи, планування і проведення досліджень, узагальнення результатів, підготовка до друку).
5. **Tyrus, M., Lykhochvor, V., Hnativ, P., Szulc, W., Rutkowska, B., Andrushko, O., Rozko, I., Lytvyn, O., Dudar, I. and Pavkovych, S.** (2024) 'The effect of mineral fertilizer rates on amaranth grain quality in the wet climate of Western Ukraine', *Journal of Elementology*, 29(3), 635-646, available: <https://doi.org/10.5601/jelem.2024.29.2.3359> (Scopus, WoS (Q4)) (Ідея роботи,

планування і проведення досліджень, узагальнення результатів, підготовка до друку).

Статті у фахових виданнях:

6. **Тирус М. Л.** Вплив рівнів удобрення на продуктивність амаранту в умовах Лісостепу західного. *Вісник ЛНАУ*. Серія: агрономія. Львів: Львівський нац. аграр. ун-т,. 2021. Вип. № 25. С. 63-65.
<https://doi.org/10.31734/agronomy2021.01.063>

7. **Тирус М. Л.** Продуктивність амаранту зернового залежно від сорту та рівнів удобрення. *Вісник ЛНУП*. Серія: агрономія. Львів: Львівський національний університет природокористування,. 2022. Вип. № 26. С. 77 - 80.
<https://doi.org/10.31734/agronomy2022.26.077>

8. **Тирус М. Л.,** Лихочвор В. В. Урожайність амаранту залежно від сорту та норми висіву в умовах достатнього зволоження. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2023. Вип. 73 (1). С. 88-105. DOI:
[https://doi.org/10.32636/01308521.2023-\(73\)-1-6](https://doi.org/10.32636/01308521.2023-(73)-1-6) (Ідея роботи, планування і проведення досліджень, узагальнення результатів, підготовка до друку).

9. **Тирус М. Л.** Вплив норми висіву на урожайність амаранту. *Вісник ЛНУП*. Серія: агрономія. Львів: Львівський національний університет природокористування,. 2023. Вип. № 27. С. 81-85.
<https://doi.org/10.31734/agronomy2023.27.081>

10. **Тирус М. Л.** Формування врожайності зерна амаранту залежно від строків сівби в умовах Західного Лісостепу України. *Scientific Progress & Innovations*. 2023. № 26 (4). С. 71–76. <https://doi.org/10.31210/spi2023.26.04.13>

11. **Тирус М. Л.,** Лихочвор В. В., Оліфір Ю. М. Зелена маса амаранту як альтернатива мінеральних добрив. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2024. Вип. 75 (1). С. 120 – 131.
[https://doi.org/10.32636/01308521.2024-\(75\)-1-11](https://doi.org/10.32636/01308521.2024-(75)-1-11) (Ідея роботи, планування і проведення досліджень, узагальнення результатів, підготовка до друку).

12. **Тирус М. Л.** (2024). Урожайність амаранту залежно від способу сівби в умовах Західного Лісостепу. *Вісник Львівського національного*

університету природокористування. Серія Агрономія , (28), 2024. С. 84–88.
<https://doi.org/10.31734/agronomy2024.28.084>

13. **Тирус М. Л.**, Лихочвор В. В., Оліфір Ю. М. Вміст жирних кислот в олії сортів амаранту за вирощування в умовах західного Лісостепу. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2024. Вип. 76 (2). С. 91 – 101.
[https://doi.org/10.32636/01308521.2024-\(76\)-2-9](https://doi.org/10.32636/01308521.2024-(76)-2-9) (Ідея роботи, планування і проведення досліджень, узагальнення результатів, підготовка до друку).

14. **Тирус М. Л.** Урожайність зерна амаранту залежно від глибини сівби. *Корми та кормовиробництво*. 2025. № 99. С. 77-85.
<https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202599-07>

15. **Тирус М. Л.** Економічна ефективність різних рівнів мінерального живлення у технології вирощування амаранту. *Scientific Progress & Innovations*. 2025. № 28 (1). С. 20 – 24. DOI: <https://doi.org/10.31210/spi2025.28.01.04> .

16. **Тирус М. Л.** Елементи структури врожаю амаранту залежно від способу і глибини сівби. *Сільське та лісове господарство*. 2025. № 2 (37). С. 67 – 78. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2025-2-7> <http://forestry.vsau.org/>

17. **Тирус М. Л.** Економічна ефективність вирощування сортів амаранту в умовах Лісостепу Західного України. *Агробіологія*, 2025, №1. С. 181 – 187. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2025-195-1-181-187>

18. **Тирус М. Л.** Урожайність зерна амаранту (*Amarantus Hypochondriacus* L.) залежно від способу і глибини сівби, норми висіву та строків сівби в умовах Лісостепу західного України. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2025. Вип. 77 (1). С. 122 – 135.
[https://doi.org/10.32636/01308521.2025-\(77\)-1-11](https://doi.org/10.32636/01308521.2025-(77)-1-11)

19. **Тирус М. Л.** Сидеральна цінність зеленої маси сортів амаранту. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. 2025. Серія «Агрономія і біологія», випуск 1 (59). С. 128 – 133. DOI <https://doi.org/10.32782/agrobio.2025.1.16>

20. **Тирус М. Л.** Урожайність зерна амаранту (*Amarantus Hypochondriacus*) залежно від способу та глибини сівби в умовах Західного

Лісостепу України. *Таврійський науковий вісник*. 2025. № 141 (2). С. 103 – 108.
<https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.141.2.14>

21. **Тирус М. Л.** Вплив гідротермічних умов на проходження фаз вегетації сортів амаранту залежно від норм добрив. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2025. Випуск 2 (47). С. 141 – 146.
<https://doi.org/10.37406/2706-9052-2025-2.19>

Тези доповідей і матеріали конференцій

1. **Тирус М. Л.** Вирощування амаранту в умовах Лісостепу західного. *The world of science and innovation: матеріали X Міжнародної науково – практичної конференції 5 – 7 травня 2021 р. Великобританія, Лондон 2021*. С. 740 – 744.

2. **Тирус М. Л.** Вплив рівня удобрення на ріст і розвиток амаранту в умовах Лісостепу західного. *Results of modern scientific research and developmen: матеріали III Міжнародної науково – практичної конференції 29 – 31 травня 2021 р. Іспанія, Мадрид 2021*. С. 17 – 20.

3. **Тирус М. Л.** Influence of fertilizer levels on the structure and yield of amaranth in the conditions of the western Forest-Steppe. *COVID-19 — CHALLENGES IN MODERN SCIENCE: матеріали XX Міжнародної інтернет – конференції 2 - 3 червня 2021 р. Польща, Варшава 2021*. С. 142 – 145.

4. **Тирус М. Л.** Продуктивність амаранту залежно від рівнів удобрення в умовах Лісостепу західного. *Наукові читання до 85 річчя від дня народження В'ячеслава Григоровича Михайлова – видатного вченого у галузі селекції та насінництва сільськогосподарських культур: Матеріали тез Наукової Інтернет-конференції 5 жовтня 2021 року. Вінниця 2021*. С. 180 – 183.

5. **Тирус М. Л.** Формування елементів структури урожаю сортів амаранту зернового в умовах Лісостепу західного. *«Інноваційний розвиток АПК України: проблеми та їх вирішення»*: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції присвяченої 100-річчю від дня заснування агрономічного факультету 2–3 червня 2022 року, Житомир 2022. С. 166 -167.

6. **Тирус М. Л.** Врожайність сортів амаранту в умовах Лісостепу західного. *«Сучасні аспекти підвищення продуктивного та адаптивного потенціалу сільськогосподарських культур у контексті європейського зеленого курсу»*: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції присвяченої 110-річчю від дня заснування Миронівського інституту пшениці імені В.М. Ремесла НААН 135-річчю від дня народження Єремеева Івана Максимовича 125-річчю від дня народження Фрідріха Антона Йосиповича 115-річчю від дня народження Ремесла Василя Миколайовича 16 листопада 2022 року, с. Центральне, 2022. С. 154 – 155.

7. **Тирус М. Л., Лихочвор В. В.** Продуктивність сортів амаранту в умовах Лісостепу західного. *Вчені ЛНУП виробництву*. Каталог інноваційних розробок. Вип. XXII. Львів, 2022. С. 23. *(Ідея роботи, планування і проведення досліджень, узагальнення результатів, участь у підготовці до друку)*.

8. **Тирус М. Л.** Урожайність сортів амаранту зернового в умовах Лісостепу західного. *«Поєднання науки, освіти, практичного виробництва і справедливого продажу якісної органічної продукції»*: матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції, 23 червня 2022 року. Вінниця 2022. С. 186 – 189.

9. **Тирус М. Л.** Урожайність амаранту (*Amaranthus*) в умовах Лісостепу західного. *Кліматичні зміни та сільське господарство. виклики для аграрної науки та освіти*: збірник матеріалів V Міжнародної науково-практичної конференції 15 листопада 2022 року, Київ 2022. С. 164 – 165.

10. Лихочвор В.В., **Тирус М. Л.** Урожайність амаранту залежно від сорту. *Органічне агровиробництво: освіта і наука*: збірник матеріалів VII Міжнародної науково-практичної конференції 25 жовтня 2022 року Київ 2022 С. 68 – 69. *(Ідея роботи, планування і проведення досліджень, узагальнення результатів, участь у підготовці до друку)*.

11. **Тирус М. Л.** Вплив рівнів удобрення на продуктивність амаранту в умовах Лісостепу західного. *Теорія і практика розвитку агропромислового*

комплексу та сільських територій: матеріали XXIII міжнародного науково-практичного форуму 4 – 6 жовтня 2022 року. Львів 2022. С. 273 – 275.

12. **Тирус М. Л.** Урожайність сортів амаранту залежно від норми висіву в умовах достатнього зволоження. *Герботологія в сучасному екологічно безпечному землеробстві*: матеріали XIII науково-практичної конференції 15 березня 2023, Київ 2023. С. 70 - 71.

13. Лихочвор В.В., **Тирус М. Л.**, Тирус І.Д. Особливості формування продуктивності амаранту залежно від норми висіву. *Вчені ЛНУП виробництва*. Каталог інноваційних розробок. Вип. XXIII. Львів, 2023. С. 12. *(Ідея роботи, планування і проведення досліджень, узагальнення результатів, участь у підготовці до друку)*.

14. Лихочвор В.В., **Тирус М. Л.**, Гадзало О.Я. Формування продуктивності сортами амаранту залежно від рівнів удобрення. *Вчені ЛНУП виробництва*. Каталог інноваційних розробок. Вип. XXIII. Львів, 2023. С. 13. *(Ідея роботи, планування і проведення досліджень, узагальнення результатів, участь у підготовці до друку)*.

15. **Тирус М. Л.**, Лихочвор В. В., Стасів О. О. Вплив способу сівби на продуктивність амаранту. *Вчені ЛНУП виробництва*. Каталог інноваційних розробок. Вип. XXIII. Львів, 2023. С. 14. *(Ідея роботи, планування і проведення досліджень, узагальнення результатів, участь у підготовці до друку)*.

16. **Тирус М. Л.** Зелені добрива, як основа збереження родючості ґрунту. *Ґрунти, сталий розвиток та українське ґрунтознавство*: матеріали Міжнародної наукової конференції присвяченої 120-річчю від дня народження ГРИГОРІЯ АНДРУЩЕНКА 24-26 квітня 2023, Дубляни – Львів 2023. С. 166 – 170.

17. **Tyrus M.** Yield of amarant depending on the variety. *Digital transformation and technologies for sustainable development all branches of modern education, science and practice* [Electronic resource]: International Scientific and Practical Conference Proceeding, January 26, 2023. Lomza, Poland, 2023. Part 3. P. 209 - 214.

18. **Тирус М. Л.** Урожайність амаранту залежно від норми висіву. *Корми і кормовий білок: матеріали XV Міжнародної наукової конференції (19-20 вересня 2023 року).* Інститут кормів та сільського господарства Поділля НААН. Вінниця. 2023. С.63.
19. **Тирус М. Л.** Вміст білку в зерні амаранту залежно від сорту. *Стан і перспективи розробки та впровадження ресурсоощадних, енергозберігаючих технологій вирощування сільськогосподарських культур: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції 21-22 листопада 2023 року.* Дніпро 2023. С. 167 – 169.
20. **Тирус М. Л.** Урожайність амаранту залежно від способу сівби. *Органічне агровиробництво: освіта і наука: збірник матеріалів VIII Міжнародної науково-практичної конференції 21 листопада 2023 року.* Київ 2023 С. 118 - 120.
21. **Тирус М. Л.,** Лихочвор В.В., Мазурак І.В. Формування урожайності амаранту залежно від сорту та норми висіву в умовах достатнього зволоження. *Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій: матеріали XXIV Міжнародного науково-практичного форуму 4-6 жовтня 2023 р.* Львів 2023. С. 298 – 299. https://www.lnup.edu.ua/attachments/article/5890/Forum_LNUP_2023.pdf (Ідея роботи, планування і проведення досліджень, узагальнення результатів, участь у підготовці до друку).
22. Лихочвор В.В., **Тирус М. Л.** Вирішення агроекологічних проблем у рослинництві шляхом вирощування амаранту (*Amaranthus*). *Сучасні технології вирощування екологічно безпечної плодоовочевої продукції.* II Міжнародна науково-практична конференція, присвячена 90-річчю від дня народження видатної селекціонери часнику, к.с.-г. н., доцента Ліщак Лідії Петрівни, 28-29 березня 2024 року. Львів. ЛНУП. 2024. С. 50-51. (Ідея роботи, планування і проведення досліджень, узагальнення результатів, участь у підготовці до друку).
23. **Тирус М. Л.** Урожайність амаранту залежно від строків сівби в умовах Лісостепу західного. *«Наукові основи адаптивного землеробства»:*

матеріали Міжнародної науково-практичної конференції з нагоди 100-річчя від дня народження доктора сільськогосподарських наук, професора, академіка ФЕДОРА ТРОХИМОВИЧА МОРГУНА, 90-річчя Агрономічного факультету Дніпровського державного аграрно-економічного університету та Міжнародного дня здоров'я рослин (16-17 травня 2024 року, м. Дніпро). Дніпро: ДДАЕУ, 2024. С. 226.

24. **Тирус М. Л.** Амарант – як альтернативне джерело живлення рослин. *Сучасні ековиклики. Стратегії екологічної безпеки довкілля*: збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції присвяченої 25-річчю кафедри екології Львівського НУП (22-23 травня 2024 р.) Львів-Дубляни : ЛНУП, 2024. С. 361-364.

25. **Тирус М. Л.** Сидеральна цінність вегетативної маси амаранту. *Пріоритетні напрями наукового забезпечення виробництва продукції тваринництва у карпатському регіоні для подолання викликів, пов'язаних з воєнним станом*: матеріали міжнародної науково-практичної конференції. Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН, 25 червня 2024 р. Оброшине, 2024. С. 140 – 141.

26. Лихочвор В. В., **Тирус М. Л.** Урожайність амаранту сорту Харківський 1 залежно від строків сівби. *Корми і кормовий білок*: матеріали XVI Міжнародної наукової конференції (19- 20 вересня 2024 року). Інститут кормів та сільського господарства Поділля НААН. Вінниця. 2024. С. 42 – 46. *(Ідея роботи, планування і проведення досліджень, узагальнення результатів, участь у підготовці до друку).*

27. **Тирус М. Л.**, Тирус І. Д. Вплив способу сівби на урожайність амаранту зернового в умовах Лісостепу західного. *Перлини степового краю*: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції 21-22 листопада 2024 року. Миколаївський національний аграрний університет. Миколаїв – 2024. С. 28-30. *(Ідея роботи, планування і проведення досліджень, узагальнення результатів, участь у підготовці до друку).*

28. **Тирус М. Л.** Оптимальна глибина сівби амаранту. *Інноваційні технології в індустрії 5.0: Збірник тез за матеріалами 30-ої міжнародної науково-практичної конференції (21-23 жовтня 2024 р.). Ч.1.* – Суми: СНАУ, 2024 – С. 93 - 95.

29. **Тирус М. Л., Лихочвор В. В.** Вплив сорту на врожайність амаранту. *Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій: матеріали XXV Міжнародного науково-практичного форуму, 02–04 жовтня 2024 р. Львів: ЛНУП, 2024. С. 281 – 283. (Ідея роботи, планування і проведення досліджень, узагальнення результатів, участь у підготовці до друку).*

30. **Тирус М. Л.** Вплив строків сівби на польову схожість і виживаність амаранту в умовах Західного Лісостепу. *Інноваційні технології у рослинництві: матеріали міжнародної науково-практичної інтернет-конференції до 115-ої річниці з дня народження доктора сільськогосподарських наук, професора, член-кореспондента НАН України, Заслуженого діяча науки України Кияка Григорія Степановича, 30 квітня 2025 р. Львів: ЛНУВМБ ім. С.З.Гжицького, 2025. С. 42–44.* <https://repository.lnup.edu.ua/jspui/handle/123456789/2477>

31. **Тирус М. Л., Стефанюк С. В.** Амарант (*AMARANTHUS L.*) – овочева культура. *Теоретичні і практичні аспекти розвитку галузі овочівництва в сучасних умовах: матеріали VIII міжнародної науково-практичної конференції (21 травня 2025 р., сел. Селекційне Харківської обл.) / Інститут овочівництва і баштанництва НААН. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2025. С. 142–145. (Ідея роботи, планування і проведення досліджень, узагальнення результатів, участь у підготовці до друку).*

ЗМІСТ

ВСТУП	26
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ З ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ АМАРАНТУ (огляд літературних джерел)	35
1.1 Амарант - як перспективна та альтернативна сільськогосподарська культура	35
1.2 Формування урожайності амаранту залежно від системи удобрення	44
1.3 Вплив параметрів сівби на врожайність сортів амаранту	52
1.4. Система захисту агроценозу амаранту	70
1.5. Вплив елементів технології вирощування на якісні показники зерна амаранту	84
1.6. Використання фітомаси амаранту на зелене добриво	94
РОЗДІЛ 2. УМОВИ, ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	110
2.1 Характеристика ґрунтових умов проведення досліджень	110
2.2 Метеорологічні умови проведення досліджень	113
2.3 Схеми дослідів та методика проведення досліджень	121
РОЗДІЛ 3. ВПЛИВ ОСНОВНИХ АСПЕКТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ НА ОСОБЛИВОСТІ РОСТУ І РОЗВИТКУ РОСЛИН АМАРАНТУ	142
3.1 Вплив гідротермічних умов на проходження фаз вегетації сортів амаранту залежно від рівнів удобрення	142
3.2 Визначення оптимальних параметрів елементів технології вирощування для польової схожості насіння амаранту	158
3.3 Вживаність рослин амаранту залежно від досліджуваних факторів	167

РОЗДІЛ 4. ФОРМУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СТРУКТУРИ ВРОЖАЮ АМАРАНТУ ЗАЛЕЖНО ВІД ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАХОДІВ	182
4.1 Формування елементів структури врожаю амаранту залежно від сортових особливостей та погодних умов	182
4.2 Формування елементів структури врожаю амаранту залежно від сортових особливостей та норм висіву	187
4.3 Елементи структури врожаю амаранту залежно від глибини сівби	196
4.4 Вплив строків сівби на формування елементів структури врожаю амаранту	202
4.5 Елементи структури врожаю амаранту залежно від способів сівби	205
4.6 Вплив рівнів удобрення на параметри показників структури врожаю амаранту	209
РОЗДІЛ 5. УРОЖАЙНІСТЬ АМАРАНТУ ЗАЛЕЖНО ВІД КОМПЛЕКСУ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ	218
5.1 Вплив сортових особливостей амаранту на врожайність зерна в умовах Лісостепу західного	218
5.2 Мінеральне удобрення як основа формування високоврожайних посівів амаранту	225
5.3 Вплив норми висіву насіння на врожайність сортів амаранту	235
5.4 Оптимізація способу сівби амаранту	242
5.5 Вплив строків сівби на формування урожайності амаранту	246
5.6 Урожайність амаранту залежно від глибини сівби	249

РОЗДІЛ 6. ФОРМУВАННЯ УРОЖАЙНОСТІ АМАРАНТУ ЗАЛЕЖНО ВІД ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ РОСЛИН	254
6.1 Ефективність хімічних засобів регулювання чисельності бур'янів в посівах амаранту	254
6.2 Ефективність фунгіцидного контролю найпоширеніших хвороб рослин амаранту	262
6.3 Ефективність інсектицидного контролю шкідників амаранту	270
РОЗДІЛ 7. ЯКІСНИЙ СКЛАД ЗЕРНА АМАРАНТУ ЗАЛЕЖНО ВІД ДОСЛІДЖУВАНИХ ФАКТОРІВ	281
7.1. Вплив сортових особливостей амаранту на формування якісного складу зерна	282
7.2. Вплив рівнів удобрення амаранту на формування якісного складу зерна	297
7.3 Вміст жирних кислот в олії сортів амаранту	316
РОЗДІЛ 8. ВСТАНОВЛЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВЕГЕТАТИВНОЇ МАСИ АМАРАНТУ НА СИДЕРАТ	325
8.1 Формування продуктивності зеленої маси залежно від сортових особливостей амаранту	326
8.2 Вплив рівнів удобрення на урожайність вегетативної маси сортів амаранту	340
РОЗДІЛ 9. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ АМАРАНТУ ЗАЛЕЖНО ВІД ДОСЛІДЖУВАНИХ ФАКТОРІВ	356
9.1 Економічна ефективність вирощування сортів амаранту	357
9.2 Економічна ефективність вирощування амаранту залежно від рівнів мінерального удобрення	360

9.3 Економічна ефективність вирощування амаранту залежно від засобів боротьби з бур'янами	366
9.4 Біоенергетична оцінка технології вирощування амаранту	370
ВИСНОВКИ	377
ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ	382
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	383
ДОДАТКИ	457

ВСТУП

Актуальність теми. Вирощування амаранту на сьогоднішній день набуває особливої актуальності в умовах Лісостепу західного України через його унікальну фізіологічну адаптацію до кліматичних змін. Зміна клімату в Україні змушує шукати альтернативи традиційному веденню сільського господарства, включаючи пошук посухостійких культур. Амарант належить до рослин з типом фотосинтезу C₄, який забезпечує надзвичайно високу ефективність використання води рослинами - потреба у воді зменшується в 2-2,5 рази, відносно бобових і злакових культур, а після повної зупинки росту в період посухи рослина здатна відновлювати вегетацію. В умовах прогнозованого підвищення температури та посилення посушливих явищ, амарант може стати стратегічно важливою культурою для підтримання продовольчої безпеки регіону. Амарант вирощують як зернову, кормову, овочеву, лікарську, декоративну культуру. Урожайність амаранту може сягати понад 3,0 т/га, з вмістом білку до 19,0 % та 8,0 % олії. Білок амаранту має високу харчову цінність і оцінюється в 75-80 балів, у той час як білок коров'ячого молока – 72, пшениці – 57, кукурудзи – 44, сої – 68 балів. Цінність амарантової олії полягає в тому, що вона містить сквален (до 8 %), який має велику цінність у медицині та косметології. Амарантова олія за якістю не поступається обліпиховій і широко використовується для лікування променевої хвороби, опіків та ін. Продукти харчування з амаранту запобігають різним захворюванням. Вартість 1 т зерна амаранту станом на 2025 рік - 25000 грн, вирощеного за органічною технологією - 50000 грн. Вагомий внесок у розвиток науки з питань технології вирощування амаранту зробили вчені: Гопцій Т.І., Дудка М.І., Дуда О.М., Войташенко Д.П., Гудковська Н.Б., Когут С.Г. і ін.

Проте, для розширення посівів амаранту в ґрунтово-кліматичні умови зони Лісостепу західного України необхідно вивчати та уточнювати більшість елементів технології вирощування.

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами. Дослідження за темою дисертаційної роботи виконувалися впродовж 2019 – 2025 рр. і були

складовою частиною комплексної теми наукових досліджень факультету агротехнологій та екології за 2016 – 2020 рр. «Розробити інноваційні системи підвищення продуктивності агрофітоценозів на основі екологостабілізуючих заходів збереження та покращення стану навколишнього природного середовища в умовах динамічних змін клімату Західного регіону України» (номер державної реєстрації 0116U003176) та у 2021 – 2025 рр. «Розробити системи управління формуванням продуктивності агроценозів, адаптованих до змін клімату на основі оцінки стану природних та штучних екосистем західного регіону України» номер державної реєстрації 0121U109748).

Метою дослідження є експериментальне встановлення та теоретичне обґрунтування основних елементів технології вирощування амаранту в агрокліматичних умовах достатнього зволоження Лісостепу західного.

Для досягнення вказаної мети були поставлені такі **завдання**:

- встановити найперспективніший сорт амаранту в ґрунтово-кліматичній зоні Лісостепу західного;
- визначити закономірності формування та реалізації біологічного потенціалу продуктивності сортів амаранту залежно від досліджуваних елементів технології вирощування в умовах достатнього зволоження;
- встановити закономірності проходження фенологічних фаз росту і розвитку агроценозу амаранту в умовах достатнього зволоження;
- встановити вплив досліджуваних елементів технології на продукційні процеси амаранту та визначити ефективність різних рівнів удобрення, норм висіву, способів і строків сівби, глибини загортання насіння з метою забезпечення максимального рівня урожайності амаранту;
- провести аналіз впливу технологічних прийомів на якісні показники зерна амаранту;
- встановити закономірності формування високопродуктивних агроценозів амаранту та обґрунтувати доцільність їх вирощування на сидеральне добриво;

- встановити ефективні засоби захисту агроценозу амаранту від бур'янів і шкідливих організмів і дослідити їх вплив на формування продуктивності амаранту;
- розробити математичні моделі формування високої продуктивності амаранту залежно від зміни температурного режиму й рівня зволоження;
- дати економічну й енергетичну оцінку досліджуваних елементів технології;
- науково обґрунтувати та впровадити у виробництво розроблені й удосконалені елементи технологій вирощування амаранту, які забезпечують високу економічну та енергетичну ефективність.

Об'єкт дослідження – процес формування урожайності та якості зерна амаранту залежно від елементів технології вирощування в умовах Лісостепу західного; доцільність використання зеленої маси амаранту в якості зеленого добрива.

Предмет дослідження – амарант, сорти, елементи системи удобрення, спосіб сівби, глибина загортання насіння, норма висіву, строки сівби, засоби захисту рослин, структура врожаю, урожайність зерна і зеленої маси, якість, економічна та енергетична ефективність.

Методи дослідження. Дослідження проведено на відповідному методичному рівні із застосуванням загальнонаукових методів: гіпотеза, експеримент, спостереження, аналіз, метод синтезу для формування висновків; та спеціальних методів: польовий - для спостереження за фазами розвитку рослин, визначення їх біометричних показників, продуктивності та проведення обліку врожаю; лабораторний - аналіз рослинних та ґрунтових зразків для визначення вмісту основних елементів живлення, визначення якості зерна та структури врожаю; математично-статистичний - для проведення дисперсійного, кореляційного та регресійного аналізів оцінки результатів досліджень та встановлення взаємозв'язків між біометричними показниками; розрахунково-порівняльний - для встановлення економічної й енергетичної ефективності елементів технології вирощування амаранту.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у розробці науково-теоретичних основ адаптивної технології вирощування амаранту в ґрунтово-кліматичних умовах Лісостепу західного шляхом встановлення біологічних закономірностей формування продуктивності культури під впливом комплексу технологічних чинників, математичного моделювання взаємозв'язків між досліджуваними факторами та показниками якості врожаю, а також обґрунтування оптимальних параметрів вирощування для максимальної реалізації біологічного потенціалу культури в регіональних умовах.

Уперше:

- ідентифіковано найперспективніші в ґрунтово-кліматичних умовах зони Лісостепу західного сорти амаранту за комплексом господарсько-цінних ознак та стабільністю прояву продуктивності;

- встановлено закономірності морфогенезу рослин та формування продуктивності амаранту залежно від рівнів мінерального живлення та елементів сівби;

- виявлено кореляційні зв'язки між кліматичними умовами, елементами технології та формуванням врожайності і біохімічного складу зерна амаранту в умовах Лісостепу західного;

- встановлено вплив технологічних прийомів вирощування на якісні показники зерна амаранту;

- розроблено і науково обґрунтовано систему захисту посівів амаранту від комплексу шкідливих організмів з урахуванням біологічних особливостей культури;

- встановлено агроекологічну доцільність використання вегетативної маси амаранту як органічного добрива для підвищення родючості темно-сірого опідзоленого легкосуглинкового ґрунту Лісостепу західного.

- науково обґрунтовано ефективність використання амаранту як фіторемедіанта для відновлення деградованих внаслідок воєнних дій та радіологічно пошкоджених ґрунтів України;

-проведено економічний та біоенергетичний аналіз ефективності вирощування амаранту зернового залежно від досліджуваних факторів.

Набули подальшого розвитку теоретичні положення щодо адаптивних реакцій амаранту на варіабельність гідротермічних умов та оптимізації системи живлення залежно від сортових особливостей і потенціалу продуктивності;

концептуальні основи формування архітекτονіки посіву амаранту через встановлення математичних залежностей між параметрами сівби, морфометричними показниками рослин і структурними елементами врожаю.

Практичне значення одержаних результатів полягає в розробленні, обґрунтуванні та впровадженні у виробництво елементів технології вирощування амаранту, що забезпечує високий рівень врожайності цієї культури в умовах достатнього зволоження Лісостепу західного. Визначено оптимальний рівень удобрення та параметри сівби (норма висіву, спосіб і строк сівби, глибину загортання насіння), запропоновано ефективні засоби захисту рослин, які сприяють формуванню врожаю зерна амаранту на рівні 5 т/га із вмістом білку 19,5 % та олійності 8,2 %. Встановлено найурожайніший сорт амаранту в умовах достатнього зволоження Лісостепу західного.

Теоретичні положення, які сформульовані в дисертаційній роботі впроваджено в Сарненській дослідній станції Інституту водних проблем і меліорації НААН Сарненського району Рівненської області у 2024 р. на площі 2 га і 3 га і у фермерському господарстві «Бік Агро» Шептицького району Львівської області на площі 1,25 га.

За результатами впровадження у Сарненській дослідній станції Інституту водних проблем і меліорації НААН у 2024 році на площі 3 га встановлено підвищення урожайності зерна амаранту сорту Лера за строку сівби 30 квітня на 0,33 т/га порівняно до строку сівби 15 травня, та на 0,75 т/га відносно строку сівби 16 квітня. Умовно чистий прибуток становив за строку сівби 29 квітня – 21500 грн/га. Застосування на дерново- підзолистому супіщаному ґрунті рівня мінерального удобрення $N_{200}P_{80}K_{160}$ забезпечило приріст урожайності зерна амаранту сорту Харківський 1 2,68 т/га відносно варіанту без внесення

мінеральних добрив; та на 0,63 т/га - відносно варіанту з внесенням міндобрив у нормі $N_{160}P_{60}K_{120}$. Умовно чистий прибуток становив за рівня мінерального удобрення у нормі $N_{200}P_{80}K_{160}$ – 62 300 грн/га.

За результатами впровадження проведеного впродовж 2024 року у ФГ «Бік Агро» встановлено ефективність застосування засобів захисту: інсектициду Енжіо 24,7 % к. с. в нормі 0,2 л/га; фунгіциду Амістар Екстра, 28 % к.с в нормі 0,5 л/га; моллюскоциду Slimax 04GB в нормі 4,0 кг/га. Рівень урожайності за використання даних засобів захисту був на 0,37 т/га вищим відносно варіанту без використання препаратів. Це забезпечило зростання економічної ефективності: умовно чистий прибуток був вищим на 9250 грн/га.

Матеріали нових дисертаційних результатів залучені у програми таких дисциплін «Системи удобрення польових культур», «Рослинництво», «Лікарські, технічні та енергетичні культури», «Технології вирощування енергетичних культур», «Вирощування біоенергетичних культур» на профільних кафедрах Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького (довідка про впровадження).

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є результатом 6-річної дослідницької роботи здобувачки; наукові положення, винесені на захист, дисертантка одержала особисто. Авторка провела аналіз літературних джерел, визначила напрями досліджень за темою дисертації; розробила програми досліджень відповідно до сучасних методик; організувала та взяла безпосередню участь у їх виконанні, узагальненні, аналізі та обробці результатів досліджень; визначила економічну ефективність; сформулювала наукові положення, висновки і рекомендації виробництву, провела їх впровадження, підготувала та опублікувала результати наукових досліджень. Частка авторства в опублікованих зі співавторами працях становить 70 – 90 %.

Апробація результатів досліджень. Основні матеріали дисертаційної роботи були оприлюднені та отримали позитивну оцінку на I Міжнародній науково – практичній конференції присвяченій 75 – річчю кафедри садівництва та овочівництва ім. проф. І. П. Гулька та 165 – річчю ЛНАУ (Львів, 2021); X

Міжнародній науково – практичній конференції «The world of science and innovation» (Великобританія, Лондон, 2021); III Міжнародній науково – практичній конференції «Results of modern scientific research and developmen» (Іспанія, Мадрид, 2021); XX Міжнародній інтернет – конференції «COVID-19 — CHALLENGES IN MODERN SCIENCE» (Польща, Варшава, 2021); науковій Інтернет-конференції «Наукові читання до 85 річчя від дня народження В.Г. Михайлова – видатного вченого у галузі селекції та насінництва сільськогосподарських культур» (Вінниця, 2021); III Міжнародній науково-практичній конференції присвяченої 100-річчю від дня заснування агрономічного факультету «Інноваційний розвиток АПК України: проблеми та їх вирішення» (Житомир, 2022); Міжнародній науково-практичній конференції присвяченій 110-річчю від дня заснування Миронівського інституту пшениці імені В.М. Ремесла НААН, 135-річчю від дня народження Єремєєва І.М., 125-річчю від дня народження Фрідріха А.Й., 115-річчю від дня народження Ремесла В.М. «Сучасні аспекти підвищення продуктивного та адаптивного потенціалу сільськогосподарських культур у контексті європейського зеленого курсу» (с. Центральне, 2022); XIII Міжнародній науково-практичній конференції «Поєднання науки, освіти, практичного виробництва і справедливого продажу якісної органічної продукції» (Вінниця, 2022); V Міжнародній науково-практичній конференції «Кліматичні зміни та сільське господарство. виклики для аграрної науки та освіти» (Київ, 2022); VII Міжнародній науково-практичній конференції «Органічне агровиробництво: освіта і наука» (Київ, 2022); XXIII Міжнародний науково-практичного форум «Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій» (Львів, 2022); XIII науково-практичній конференції «Гербологія в сучасному екологічно безпечному землеробстві» (Київ, 2023); Міжнародній науковій конференції присвяченій 120-річчю від дня народження Г. Андрущенко «Ґрунти, сталий розвиток та українське ґрунтознавство» (Дубляни – Львів, 2023); International Scientific and Practical Conference Proceeding «Digital transformation and technologies for sustainable development all branches of modern education, science

and practice» (Lomza, Poland, 2023); XV Міжнародній науковій конференції Інституту кормів та сільського господарства Поділля НААН «Корми і кормовий білок» (Вінниця, 2023); Міжнародній науково-практичній конференції «Стан і перспективи розробки та впровадження ресурсоощадних, енергозберігаючих технологій вирощування сільськогосподарських культур» (Дніпро, 2023); VIII Міжнародній науково-практичній конференції «Органічне агровиробництво: освіта і наука» (Київ, 2023); XXIV Міжнародному науково-практичному форумі «Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій» (Львів, 2023); II Міжнародній науково-практичній конференції, присвяченій 90-річчю від дня народження видатної селекціонери часнику, к.с.-г. н., доцента Ліщак Л.П. «Сучасні технології вирощування екологічно безпечної плодоовочевої продукції» (Львів, 2024); Міжнародній науково-практичній конференції з нагоди 100-річчя від дня народження доктора сільськогосподарських наук, професора, академіка Ф.Т. МОРГУНА, 90-річчя Агрономічного факультету Дніпровського державного аграрно-економічного університету та Міжнародного дня здоров'я рослин «Наукові основи адаптивного землеробства» (Дніпро, 2024); Міжнародній науково-практичній конференції присвяченій 25-річчю кафедри екології Львівського НУП «Сучасні ековиклики. Стратегії екологічної безпеки довкілля» (Львів-Дубляни: ЛНУП, 2024); Міжнародній науково-практичній конференції Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН «Пріоритетні напрями наукового забезпечення виробництва продукції тваринництва у карпатському регіоні для подолання викликів, пов'язаних з воєнним станом» (Оброшине, 2024); XVI Міжнародній науковій конференції Інституту кормів та сільського господарства Поділля НААН «Корми і кормовий білок» (Вінниця, 2024); Всеукраїнська науково-практичній конференції «Перлини степового краю» (Миколаїв, 2024); 30-ій міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні технології в індустрії 5.0» (Суми: СНАУ, 2024); XXV Міжнародному науково-практичному форумі «Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій» (Львів: ЛНУП, 2024); Міжнародній науково-практичній інтернет-

конференції присвяченій 115-й річниці з дня народження доктора сільськогосподарських наук, професора, член-кореспондента НАН України, Заслуженого діяча науки України Кияка Г.С. «Інноваційні технології у рослинництві» (Львів: ЛНУВМБ ім. С.З.Гжицького, 2025); VIII Міжнародній науково-практичній конференції «Теоретичні і практичні аспекти розвитку галузі овочівництва в сучасних умовах» Інституту овочівництва і баштанництва НААН (Вінниця, 2025).

Публікації. Основні наукові результати дисертаційної роботи висвітлені в 52 наукових працях, з них 21 стаття (16 – у фахових виданнях, 5 – у виданнях, що індексується в міжнародних наукометричних базах Skopus і Web of Science (3 статті у виданні Q3; 1 стаття у виданні Q2), 31 тези науково-практичних конференцій і форумів.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, дев'яти розділів, висновків, рекомендацій виробництву, списку використаної літератури та додатків і викладена на 496 сторінках. Включає 101 таблицю, 99 рисунків та 61 додаток. Список літератури налічує 600 джерел, з них 366 латиницею. Обсяг, що займають анотація, список використаних джерел літератури і додатки – 130 сторінок.

РОЗДІЛ 1.
СУЧАСНИЙ СТАН НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ З ТЕХНОЛОГІЇ
ВИРОЩУВАННЯ АМАРАНТУ
(огляд літературних джерел)

1.1 Амарант - як перспективна та альтернативна сільськогосподарська культура

Основою виробництва продуктів харчування є зернові, зернобобові та олійні культури. Інтенсифікація сільського господарства базується на широкому використанні невеликої кількості високоврожайних, прибуткових культур. Це підвищує вразливість галузі рослинництва, зменшує різноманітність вирощуваних рослин, провокує екологічні проблеми та збіднює харчування людини [266]. Зазначені факти стимулюють залучення альтернативних культур у виробництво. Амарант (*Amaranthus spp.*) є однією з найперспективніших альтернативних культур сучасного сільського господарства, здатною вирішити проблеми продовольчої безпеки та збагачення раціону харчування людини [264, 324, 385, 500]. Оскільки, завдяки своєму унікальному харчовому профілю та фотосинтетичному типу C4, амарант є найкращою культурою для диверсифікації систем землеробства та адаптації до мінливих умов. Ця характеристика робить амарант особливо цінним у контексті сучасних викликів сільського господарства, пов'язаних з кліматичними змінами та забезпеченням підвищення стійкості агроєкосистем [380].

Амарант – древня культура, потенціал якої поки що не реалізований повністю [264, 324]. Види амаранту вирощуються для харчових і непродовольчих цілей принаймні 5000 років. У 1967 році Кален назвав амарант «першим зерном Нового Світу» [415]. Починаючи з 1970 року амарант поступово відновлюється як культурна рослина, нині його вирощують у багатьох країнах світу [259, 355]. Найбільшими виробниками зернового амаранту є Мексика, Китай, Індія, Непал, Аргентина, Перу та Кенія. Однак дані про світове виробництво зернового амаранту обмежені, і FAOSTAT не публікує жодної

інформації про його виробництво [212]. В Україні амарант поширився в 1989-1992 рр. [38, 39].

Виробничі площі в Європі досить малі, всього близько 1000 га. Вирощують амарант у Словаччині, Угорщині, Італії [323]. Точні статистичні дані щодо посівних площ амаранту в Україні відсутні. Наводяться різні цифри – від 1000 тис га до 5000 тис га [232, 589].

Культивують як зернові (псевдозлаки) переважно три види амаранту: *Amaranthus cruentus* (багрянний, пурпуровий), *Amaranthus hypochondriacus* (гіпохондричний) і *Amaranthus caudatus* (хвостатий), які серед культурних амарантів види мають найвищу харчову цінність [153, 282, 500, 535]. Велика кількість видів амаранту потребує додаткових досліджень його систематики [324, 325].

Популярний листяний, овочевий амарант, зокрема *A. cruentus*, *A. dubius*, *A. blitum* і *A. tricolor* [445, 500]. Вид *A. cruentus* культивується як овочевий, кормовий, лікарський та зерновий залежно від цільового ринку виробника. Чітких відмінностей між овочевими і зерновими видами амаранту немає [500].

Білок *Amaranthus cruentus* має високий вміст сірковмісних амінокислот, які включають метіонін і цистеїн [535].

Amaranthus hypochondriacus – це вид, який зазвичай вирощують для отримання зерна і є найурожайніший як по зерну, так і за зеленою масою [344, 345]. Завдяки чудовому поживному складу зерно має високу якість. Зерно *A. hypochondriacus* було запропоновано як альтернативне природне джерело сквалену, який захищає від онкологічних захворювань і знижує рівень холестерину в крові [490].

Amaranthus caudatus - цей вид амаранту також вирощують в основному заради зерна. Дослідження, проведені на даний момент, показали, що має він чудовий харчовий профіль з високим вмістом білка, мінералів і жиру в порівнянні зі звичайно вживаними злаками [5, 18].

Переважає більшість видів щириці в Україні мають темне забарвлення насіння. Та лише 4 види (*A. paniculatus*, *A. caudatus*, *A. hypochondriacus*, *A.*

mantegazzianus) мають насіння різних відтінків і кольорів – від темних до світлих [5, 6]. Окрім зовнішніх відмінностей насіння відрізняється також і здатністю до виживання. В результаті вивчення біологічних властивостей насіння рослин роду *Amaranthus* встановлено, що доцільним є культивування видів та сортів із його світлим забарвленням. Використання світлонасінних форм в селекційній практиці сприятиме зменшенню ризику їх інвазій до природних фітоценозів [5].

Стверджується що чорне насіння більш властиве для малопоширених диких видів, а світле – для добре окультурених високоврожайних [545].

Амарант відноситься до рослин тропічного походження з С4-типом фотосинтезу, тобто характеризується високою швидкістю фіксації CO₂ в розрахунку на одиницю листової площі, характеризується ефективнішим використанням води і високою продуктивністю [264, 323, 414, 500]. Результати підтверджують, що *A. retroflexus* здатний компенсувати брак вологи в ґрунті більшим ростом своєї кореневої системи та використовує переваги підвищеного атмосферного CO₂ для збільшення загальної біомаси [580].

За даними Демидась Г.І. та Слюсар І.Е. [51] найбільш поширені в Україні два види: амарант волотистий (*Amaranthus paniculatus* L.) і амарант хвостатий (*Amaranthus caudatus* L.). *Amaranthus paniculatus* L. має насіння округле, чорне, блискуче, іноді біле й рожеве. Маса 1000 насінин 0,3–0,4 г. Рослина середньохолодостійка, вимоглива до вологи, добре витримує літні посушливі періоди, не страждає від невеликих весняних і осінніх заморозків, середньопізньостигла, швидко росте при високих температурах літа, має розтягнутий період цвітіння і дозрівання насіння. Найцінніші білонасінні та рожевонасінні форми [51].

Amaranthus caudatus L. має насіння округле, блідо-рожеве, плівчасте. Маса 1000 насінин 0,4 г. До хвороб рослина відносно стійка, тоді як із шкідників найбільшою мірою пошкоджується довгоносиком-стеблогризом та, іноді, гусеницями лучного метелика. Амарант хвостатий більш вимогливий до тепла і родючості ґрунту. У зерні міститься 12,6 % білка, 5,3 % жиру, 3,4 % клітковини, 49 % БЕР, 3,3 % золи. Сорти: Геліос, Рушничок [51].

Серед досліджуваних видів амаранту, зразки *Amaranthus cruentus* були стабільними та високопродуктивними (>2,7 т насіння на 1 га), окремі зразки показали також найвищий відсоток білка (17 %). Проте, найбільший відсоток олії, понад 5,7 %, мав вид *Amaranthus hypochondriacus* [357, 358]. Також, за даними [344, 345], вид *Amaranthus hypochondriacus*, забезпечував вищу урожайність зерна.

За результатами дослідження І.Т. Гопцій з співавт. [29] визначено конкретний морфотип рослин амаранту, який відповідає певному напрямку використання. Сорти зернового типу мають такі ознаки: низькорослість рослин (до 1 м), нерозгалуженість, з великою щільною або напівщільною волоттю, з високим відсотком жіночих квіток, дружним дозріванням; насіння білого, золотистого або рожевого кольору з масою 1000 насінин до 1 г, вміст сирого протеїну до 18,0–19,0 %, крохмалю – 58,0–59 %, урожайність зерна до 30 ц/га; придатність до механізованого збирання.

Для визначення цінних у господарському відношенні для умов Лівобережного Лісостепу України 19 видів амаранту було проаналізовано за комплексом господарсько цінних ознак і розподілено за господарським призначенням та практичною значущістю. Найвищу врожайність насіння (1,70 т/га) забезпечив вид *Amaranthus hypochondriacus* [29].

Головна цінність амаранту - це здатність нагромаджувати в зерні і листках багато білка. За вмістом у насінні білка (15-18 %) амарант переважає зернові культури [146, 147]. За іншими даними, вміст білку у насінні досягає 20 % [237]. Відносно пшениці вміст білку в амаранті вищий на 4,4 % і жирів на 5,8 % [38].

Білок амаранту має високу харчову цінність і оцінюється в 75-80 балів, у той час як білок коров'ячого молока – 72, пшениці – 57, кукурудзи – 44, сої – 68 балів [146, 147]. Крім високого вмісту, білок амаранту відзначається високоякісним збалансованим за амінокислотним складом, має підвищений вміст вітамінів та мінеральних речовин і дефіцитної амінокислоти - лізин [148, 264].

Вміст олії в насінні амаранту коливається від 5,4 до 8,6 % [353]. У світлому насінні міститься в середньому 7,5-9,7 % олії, в темному менше – 5,8-6,8 % [131].

За даними досліджень Venskutonis P. R. і ін., основними жирними кислотами в усіх досліджених оліях амаранту були пальмітинова, олеїнова та лінолева: пальмітинова (19,1-23,4 %), олеїнова (18,7-38,9 %) і лінолева (36,7-55,9) [573, 574].

До складу амарантової олії входять понад 70 % моно- і поліненасичених жирних кислот (лінолева (Омега-6), олеїнова (Омега-9), ліноленова (Омега-3), арахідонова, пальметолеїнова кислоти та ін.), понад 9 % фосфоліпідів (у складі яких за кількістю домінує фосфатидилхолін), сквален (понад 8 %), близько 2 % вітаміну Е, фітостероли (понад 2 %), каротиноїди (попередники вітаміну А), вітамін D, жовчні кислоти, різні макро- і мікроелементи (калій, залізо, фосфор, кальцій, магній, мідь та ін.) [42, 441].

З амаранту виділено унікальну, дуже цінну біологічно активну речовину вуглевод сквален, якої в олії міститься до 8 % [148, 211, 274, 509]. Повідомляється, що рослина амаранту є найбагатшим джерелом сквалену в рослинному світі: 5942 мг/100 г в олії з амаранту, 564 мг/100 г в оливковій олії, 9,9 мг/100 г у соєвій олії, 27,4 мг/100 г у арахісовій, 24,7 мг/100 г у кукурудзяній, 13,8 мг/100 г у соняшниковій [240].

Амарант містить активні біохімічні сполуки. Це багате джерело алкалоїдів, флавоноїдів, глікозидів, фенольних кислот, стероїдів, амінокислот, терпеноїдів, ліпідів, сапоніну, беталаїну, b-ситостеролу, стигмастерину, лінолевої кислоти, рутина, катехових танінів і каротиноїдів [500]. Всі біоактивні сполуки *Amaranthus hypochondriacus* виявляють сильну антиоксидантну дію [506]. Потенціал багатьох видів амаранту здається величезним і багатообіцяючим, що робить його дослідження для використання в оздоровчих цілях і промислового застосування вкрай необхідним [240].

Насіння амаранту є потенційним багатим джерелом поліфенолів і білкових безглютенкових сполук, особливо на удобреному ґрунті [540]. До складу входять макрокомпоненти (ліпіди, білки, вуглеводи та харчові волокна) та інші важливі

компоненти, такі як сквален, токофероли, фенольні сполуки, фітати та вітаміни. Ці аспекти дослідження амаранту тривалий час не були всебічно розглянуті [573, 574]. Продукція амаранту була також оцінена як джерело харчових волокон та деяких біологічно активних сполук [489]. Дослідження показали, що регулярне вживання амаранту може знизити рівень холестерину, принести користь людям, які страждають на гіпертонію та серцево-судинні захворювання [240, 277].

Зерновий амарант є псевдозлаком, оскільки має схожі характеристики з зерном злакових культур, але не належить до родини злакових [132, 500]. Псевдозернові – це ніша в Європі, попит на яку з кожним роком зростає. Основним ринком споживання насіння амаранту є Німеччина. Однак цей товар стає все більш відомим в інших розвинених країнах, таких як Великобританія, Нідерланди, Швеція, Бельгія та Франція [240].

На сьогодні амарант вирощують як зернову, кормову [158, 403, 404], овочеву [445, 504], лікарську [348, 550], декоративну культуру. Використовують вегетативну масу для виробництва біопалива [526, 576].

Зростає використання амаранту у харчовій промисловості та промисловості харчових добавок [12, 82, 357]. Продукти переробки амаранту мають цінний хімічний склад, високу харчову та біологічну цінність, містять широкий спектр фізіологічно функціональних харчових речовин, що визначає перспективи їх використання у технології харчових виробництв [138].

Висока харчова цінність і унікальний хімічний склад зерна амаранту роблять його культурою майбутнього [275, 289, 349, 394]. Оскільки він є перспективний для дієтичного харчування [47].

Амарантове борошно використовується для виготовлення безглютенових продуктів для людей з харчовою непереносимістю глютену (целиакія) [211, 281, 500]. Його можна використовувати у виробництві соєвого соусу, який зазвичай використовують у Південно-Східній Азії. Оскільки в зернах амаранту міститься відносно великий вміст крохмалю, з них можна виготовляти міцні алкогольні напої, використовуючи замість ячмінного солоду [469].

Традиційні продукти переробки зерна амаранту – олія, борошно, крупа [115]. Амарант придатний для приготування вітамінізованого хліба [130, 428]. Хліб з додаванням амаранту до 15 % має горіховий і приємний на смак [361].

Можна сказати, що наразі амарант відкривають «заново». Він широко використовується в харчовій, фармацевтичній, косметичній промисловості. Використовується для профілактики та лікування деяких захворювань, таких як ішемічна хвороба серця, гіпертонія, цукровий діабет тощо [376].

Амарант перспективний для фармацевтичної промисловості і виробництва багатьох функціональних продуктів харчування [13]. Має унікальні поживні властивості та різноманітне використання [376, 428]. Характеризується відмінною харчовою цінністю [488] та високою засвоюваністю крохмалю і білків продуктів амаранту [475].

В Узбекистані планується створити на основі компонентів насіння амаранту нові лікувальні, лікувально-профілактичні засоби і БАДи, а саме фармакопейна олія, сквален, білкові продукти із збалансованим амінокислотним складом [208]. Олія насіння амаранту має антиоксидантні, гепапротекторні, імуностимулюючі, протизапальні, антисклеротичні властивості [347]. Він здатний підвищувати імунітет, що дуже важливо зараз в епоху коронавірусу [144].

Ряд вчених рекомендують використовувати амарант в годівлі тварин для заміни зерна ячменю [392, 432, 472]. Зокрема, хімічний склад насіння чотирьох сортів *A. hypochondriacus* показав, що цей псевдозлак можна використовувати для збалансування раціону тварин [460].

Амарант має значні перспективи для вирощування в Україні. Підтверджено, що сорти амаранту можуть вирощуватися практично в будь-якому регіоні України [232, 589]. Саратівський В.В. [161] відзначає, що для вирощування амаранту придатні навіть кліматичні умови Прикарпаття. За багатьма якісними показниками насіння амаранту, вирощене в Україні, перевершує індійське, пакистанське та перуанське [232, 589]. Урожайність

амаранту в Україні може досягати 30 ц/га, насіння містить 12-18 % білка та 5-17 % олії [144].

За науковими даними, амарант легко пристосовується до нових умов природного середовища, рослина середньохолодостійка, може переносити невеликі приморозки (до -3°C). Культура має високу посухостійкість, але також дуже добре реагує на достатнє зволоження. Його можна вирощувати в умовах нестачі вологи, де випадає лише 200 мм за рік, одночасно є дані що його культивують навіть за випадання 3000 мм за рік [264]. У зв'язку з глобальним потеплінням і збільшенням тривалості вегетаційного періоду перспективним є розширення посівних площ амаранту в Польщі [498].

У дослідженні, проведеному Minguet Paul-Henry, вивчено вплив ґрунтової засоленості на морфологічні, фізіологічні та біохімічні показники червоного амаранту (*Amaranthus cruentus*) — як у насінневих, так і в листових сортів. Результати показали, що засолення негативно впливає на загальну біомасу, листову площу та фотосинтетичну активність, проте ступінь впливу залежав від сортотипу (насінневий або листовий). Листкові сорти виявилися більш стійкими до помірного рівня солоності [426].

Однак, незважаючи на підвищення інтересу до амаранту в світі за останні 15-20 років, багато аспектів морфології, фізіології, генетики, систематики культури залишаються нез'ясованими, що суттєво уповільнює її селекцію [95, 101, 102]. Амарант відноситься до тих рослин, з якими селекційна робота розпочалась відносно недавно [135, 209, 449]. Перспективним напрямом роботи з амарантом є виведення посухостійких сортів [373]. Для цієї відносно нової культури потрібно вивчати і уточнювати більшість елементів технології [272]. Для розширення посівів амаранту в Україні необхідно вивчати та розробляти інтенсивні технології вирощування, що орієнтовані на конкретні ґрунтово-кліматичні зони [38, 46].

Амарант вважається золотою культурою майбутнього. Але наявна література з досліджень амаранту показує, що вивченню культури не приділяли достатньої уваги [244, 324]. Зазначається, що урожайність 3,0 т/га є вже

стабільною, а розробка сучасних інтенсивних технологій дозволить одержувати урожайність на рівні зернових культур [115, 264].

Через зростаючі потреби населення світу в продуктах харчування, забезпечення здоров'я і благополуччя, а також для забезпечення продуктами тих людей що не доїдають, амарант, напевно, є найбільш вдалим вибором з усіх злакових і псевдозернових [274, 386].

Псевдозернові культури стають актуальною тенденцією в раціоні людини як безглютенові (GF) зерна з чудовою поживною та харчовою цінністю. Псевдозлаки є хорошим джерелом крохмалю, клітковини, білків, мінералів, вітамінів і фітохімічних речовин, таких як сапоніни, поліфеноли, фітостерини, фітостероїди та беталаїни, що мають потенційну користь для здоров'я [361, 418, 428]. Наявність цінних біологічно активних речовин у насінні і вегетативних органах рослин різних видів амаранту, високий вміст білку, пектину, сквален, харчових волокон, вітамінів (А, групи В, С, Е), макро- і мікроелементів робить перспективним широкого використання його у виробництві високоякісних продуктів, а також для створення біологічно активних добавок та найціннішого корму для тварин [584].

За допомогою селекції можна значно поліпшити якість зерна амаранту та підвищити його врожайність. Велику цінність мають нові сорти, які в певних ґрунтово-кліматичних умовах переважають за врожайністю вирощувані тут сорти, враховуючи що витрати на виробництво насіння амаранту мінімальні. Надалі розширення асортименту та введення в культуру високопродуктивних, добре пристосованих до місцевих умов сортів амаранту здатне посилити коло альтернативних джерел білку та біологічно-активних речовин, необхідних людині для нормальної життєдіяльності [38].

Таким чином, амарант представляє собою унікальну багатофункціональну культуру з величезним потенціалом для розвитку сучасного сільського господарства, харчової промисловості та фармацевтичної галузі. Подальше вивчення біологічних особливостей, удосконалення технологій вирощування та

розробка інноваційних методів переробки амаранту є пріоритетними напрямками наукових досліджень у галузі рослинництва та харчових технологій.

1.2. Формування урожайності амаранту залежно від системи удобрення

У сучасних системах удобрення значна частина витрат припадає на мінеральні добрива. Для росту і розвитку рослин у найбільшій кількості потрібні азот, фосфор і калій [10, 37, 225]. Також необхідні кальцій, магній, сірка та мікроелементи [112, 230].

Усвідомлення значення окремих мінеральних елементів в обміні речовин рослинного середовища, знання процесів їх надходження і пересування дає можливість цілеспрямовано впливати на життєдіяльність рослин з отримання високих і сталих урожаїв високої якості [91].

Висока врожайність амаранту обумовлює підвищені вимоги до забезпечення елементами мінерального живлення. За потребою у поживних речовинах амарант переважає навіть кукурудзу, яка також відноситься до культур тропічного походження [264].

Дані щодо потенціалу врожайності цієї культури дуже відрізняються. За даними Демидась Г.І. та Слюсар І.Е., урожайність зерна амаранту становить 1,5-2,0 т/га, але може досягти 6 т/га [51]. Подібні дані з потенціалу урожайності подані в інших джерелах: урожайність зерна без добрив – 20-30 ц/га, при підвищенні 30-40 ц/га, на поливі – 50 ц/га [67]. Відсутність високоврожайних технологій, недотримання агротехніки вирощування не дають можливості повністю реалізувати потенціал цієї культури.

Однією з головних причин неповної реалізації генетичного потенціалу врожайності амаранту є недостатнє вивчення особливостей його системи удобрення для конкретних ґрунтово-кліматичних умов. У результаті досліджень амарант реагував на підвищення норми внесення мінеральних добрив значною приростом врожайності [409]. При вивченні режимів мінерального живлення виявлено, що для утворення 1 т врожаю сухої речовини потрібно 28-32,1 кг азоту,

16-18,5 кг фосфору та 22-23,5 кг калію [267]. За іншими даними для формування урожаю на рівні 10 т/га сухої речовини він виділяє $N_{150}-P_{90}-K_{450}-Ca_{550}-Mg_{210}-250$ [147].

Є небагато даних щодо інсталяції впливу добрив на урожайність амаранту, які часто є суперечливими. Вказується про доцільність внесення розрахункової норми добрив [23], чи що найважливіші азотні добрива [128]. Практично немає даних щодо використання в технології вирощування амаранту таких макроелементів, як магній, сірка, кальцій. Відсутні рекомендації щодо внесення мікроелементів. А саме за рахунок науково-обґрунтованої системи удобрення можна підвищити урожайність до 4,0-5,0 т/га [17].

Амарант виносить поживні речовини у великій кількості впродовж вегетаційного періоду. На думку вчених [72], для отримання 10 ц врожаю зерна рослинам амаранту необхідно винести 20,6 кг N, 13,2 кг P_2O_5 і 5,6 кг K_2O з ґрунту. Зелена маса амаранту виносить ще більше живильних речовин. Так, для створення 10 т зеленої маси рослина вилучає 25-30 кг азоту, 18-22 кг фосфору і 75-85 кг калію [314, 338, 343]. Потреба амаранту у поживних речовинах неоднакова на різних фазах росту [495]. Найбільш критичними періодами в живленні амаранту є фаза наростання фітомаси та цвітіння [495]. У цей період амарант дуже сильно поглинає поживні речовини з ґрунту і внесених добрив, що вимагає високої концентрації поживних речовин у ґрунті.

Комплексна взаємодія зрошення та застосування розрахункової норми добрив сприяє подовженню продуктивного процесу та накопиченню в надземній масі 215,9 кг азоту, 107,9 кг фосфору та 566,7 кг/га калію. Максимальна інтенсивність виносу цих елементів живлення відбувається в міжфазний період бутонізації-цвітіння й становить 2,1-2,8 кг/га на добу [22].

Зустрічаються дуже різні рекомендації щодо норми внесення мінеральних добрив та доцільності застосування тих чи інших елементів живлення. Так, за даними [159] рекомендується вносити добрива у загальному співвідношенні 1:1:1 у кількості $N_{60}P_{60}K_{60}$. У праці Задорожної І.С. [79] вказується, що найвищу урожайність одержали за внесення повного мінерального удобрення в нормі

N₉₀P₉₀K₉₀. З врахуванням виносу елементів живлення сформованим урожаєм вказується інше вміст мікроелементів: N:P :K = 1 :0 ,8 :3 ,0 [67]. Про доцільність застосування органічних та мінеральних добрив під амарант зазначають низка зарубіжних вчених [409, 410, 503]. Встановлено, що внесення повного мінерального добрива (N₉₀P₉₀K₃₀) в умовах північного Степу України зумовило приріст урожайності зерна амаранту (*Amaranthus paniculatus*) на 0,42 т/га, порівняно до контролю без добрив [72].

У деяких дослідженнях норма добрив не конкретизується, а вказується, що доцільно вносити розрахункову норму добрив на заплановану врожайність зерна амаранту [21, 23]. Найбільш оптимальною нормою мінеральних добрив є розрахункова, яка забезпечує в умовах зрошення одержання максимальної врожайності зерна 26,1 ц/га, збору протеїну - 303,5 кг та олії - 120,7 кг/га [22].

Амарант інтенсивно використовує елементи живлення, тому під основний обробіток входять фосфорні і калійні добрива (P₆₀₋₁₀₀K₉₀₋₁₂₀), а навесні – азотні (N₁₄₀₋₂₀₀). Під культивування вносяться 2/3 від загальної норми азоту, у підживлення – 1/3 [144]. Результати досліджень свідчать, що найбільшу ефективність у формуванні приросту насіннєвої продуктивності амаранту мали азотно-фосфорні добрива, а внесення їх підвищених норм (N₉₀P₉₀ на фоні K₃₀) дозволило зберегти найбільшу (1,47 т/га) урожайність зерна [93].

В умовах Ступінь під основний заробіток підставою є внесення мінеральних добрив у дозі N₆₀P₆₀ або N₆₀P₆₀K₃₀ [71]. Гудковська Н.Б. і Гопцій Т.І. рекомендують дещо нижчу норму мінеральних добрив P₄₅₋₆₀K₄₅₋₆₀ [46]. Під посіви зернового амаранту на темно-каштанових підставах за вмісту в шарі ґрунту 0-50 см нітратного азоту 1,2, рухомого фосфору 3,0 та обмінного калію 33,1 мг/100 г необхідно вносити мінеральні добрива нормою N₇₂P₁₀ в умовах природного зволоження та N₁₀₁P₁₅ за зрошення [22].

У дослідженні, проведеному на дослідному полі садівництва Сільськогосподарського університету Бангабандху Шейха Муджибура Рахмана (BSMRAU), вивчався вплив різних рівнів азоту (N), фосфору (P) і калію (K) на ріст амаранту. Дослідження показало, що комбінації N, P і K суттєво впливають

на масу стебла рослин амаранту виду *Amaranthus tricolor* L. Таким чином, найвища вага стебла спостерігалася при застосуванні 150 кг азоту, 25 кг фосфору та 50 кг калію на гектар, найменша маса стебла була зафіксована при обробці без азоту – 25 кг фосфору та 50 кг калію. Норма внесення $N_{150}P_{25}K_{50}$ виявилася оптимальною для вирощування амаранту на зелену масу, формувала урожайність 105,5 т/га. Найвищу врожайність (4,66 т/га) зерна забезпечила норма добрив $N_{100}P_{50}K_{50}$ [246].

За деякими літературними даними вітчизняних і зарубіжних вчених, найбільше впливають на підвищення врожайності зерна амаранту азотні добрива [128, 223]. Так, внесення підвищеної норми азотних добрив - $N_{60}P_{60}K_{60} + N_{60-70}$ через місяць після сходів забезпечило зростання середньої врожайності до 3,0 т/га, тоді як на варіанті без добрив вона становила 2,0 т/га [68, 69]. За внесення N_{20} урожайність зерна амаранту становила 0,744 т/га, а на фоні N_{60} зросла до 1,225 т/га [387]. В інших дослідженнях внесення N_{20} забезпечувало формування урожаю зерна на значно вищому рівні 3,42 т/га, що більше з варіантом без добрив на 0,36 т/га [223].

У наукових працях Olofintoye J.A.T. відзначено, що внесення фосфорних добрив значно підвищувало врожайність амаранту виду *A. cruentus* [455]. Проте є протилежні дані, що фосфорні і калійні добрива не підвищували врожайність. Значний вплив вони мали лише при сумісному внесенні з азотом, тоді як окремо азотні добрива істотно впливали на врожайність [223]. Збільшення норми внесення азоту (0; 45; 90; 135; 180 кг N на 1 га) сприяло зростанню врожайності амаранту, і не було реакції на внесення окремо фосфору та калію [346].

У ґрунтово-кліматичних умовах Північного Степу України приріст урожайності зерна амаранту (*Amaranthus paniculatus*) від внесення повного мінерального добрива ($N_{90}P_{90}K_{30}$) був низьким і становив лише 0,42 т/га, що порівняно до контролю без добрив (1,77 т/га) [72, 74]. Вивчення п'яти рівнів азотних добрив, а саме: 0, 15, 30, 45, 60 та 84 кг N/га показало, що оптимальна норма азоту становить N_{45} [452]. А за даними Patel K.I., та ін., оптимальною нормою азоту виявилось внесення N_{60} [470].

За даними Задорожної І. С., найвища врожайність формувалась при внесенні повного мінерального удобрення в нормі $N_{90}P_{90}K_{90}$ [79]. Тоді як використання норми добрив $N_{130}P_{70}K_{70}$ призвело до зниження врожайності зерна *Amaranthus cruentus*, а найвищий рівень врожаю було отримано за внесення добрив з розрахунку $N_{90}P_{60}K_{60}$ [530]. За результатами інших досліджень використовували мінеральні добрива в нормі $N_{120}P_{70}K_{70}$ [290]. Ще вищі норми внесення рекомендуються в інших дослідженнях. У середньому за три роки (2015-2017 рр.) для сорту Харківський 1 в умовах Узбекистану оптимальною нормою внесення мінеральних добрив виявилась $N_{250}P_{150}K_{200}$. У другому досліді (2017- 2019 рр.) кращі результати забезпечила норма $N_{200}P_{140}K_{100} + 30$ т/га гною [459].

У досліді з вивчення двох рівнів удобрення макроелементами (1- $N_{90}P_{26}K_{50}$; 2- $N_{130}P_{30}K_{58}$) обидва сорти амаранту (Рава і Ацтек) суттєво відгукнулися на підвищення доз добрив. Дослідження показало, що сорт Ацтек характеризувався значно вищою висотою рослин, врожайністю надземної біомаси та врожайністю насіння, ніж сорт Рава. Обидва сорти амаранту реагували на підвищення норм удобрення макроелементами значним збільшенням досліджуваних параметрів. Особливо велике збільшення врожайності надземної біомаси було отримано за вищого рівня удобрення NPK [531].

Азотні добрива є одним з найважливіших факторів високої врожайності всіх польових культур. Знання потреб зернового амаранту в азоті відіграє важливу роль для його ефективного виробництва. Про вирішальний вплив азотних добрив на формування рівня урожайності зерна амаранту свідчать результати досліджень, де оптимальні показники врожайності зерна було отримано при внесенні в ґрунт N_{100} кг/га неорганічного добрива [454]. За результатами досліджень, проведених в агроекологічних умовах північно-західної Хорватії (м. Загреб) у період 2002–2004 років, було визначено оптимальним вплив азотних добрив у нормі N_{110} на врожайність насіння, концентрацію білка в насінні, масу 1000 насінин, вміст сухої речовини у зерні, висоту рослин та довжину суцвіття

двох сортів зернового амаранту, що належать до різних видів: G6 (*Amaranthus cruentus* L.) та 1008 (*Amaranthus hypochondriacus* L.) [478].

Ефективним виявилось порційне внесення азотних добрив. Так, найкращий розвиток рослин, цвітіння та найвища врожайність були за внесення азоту двічі: N_{60} на ранніх фазах росту та N_{30} на початку цвітіння [534]. Із досліджуваних норм внесення азоту N_0 , N_{50} , N_{100} , N_{150} , N_{200} у вигляді карбаміду оптимальною нормою виявилась N_{150} [600].

Добрива є одним із основних факторів, що впливають на врожайність та якість зерна амаранту. Внесення добрив покращує якісні та кількісні характеристики амаранту. Відповідно до результатів дослідження, проведеного в Ісламському університеті Азад у Тебризі (Іран), застосування 200 та понад 200 кг/га азоту показало підвищення врожайності зерна на 35 та 37 % відповідно. Проте, не виявилось значного збільшення біомаси, кількості суцвіть, довжини суцвіть, кількості зерен та врожайності зерна [548]. Про вплив мінеральних добрив на рівень урожайності та на показники якості зерна амаранту відзначає Skwaryło-Bednarz B., а саме, що особливо високий вміст жиру в насінні отримано при найвищому рівні підвищення NPK [529]. В інших дослідженнях добрива теж підвищували вміст жиру. Підживлення зростаючими дозами NPK має значний позитивний вплив на кількість α -токоферолу [527].

Найбільшу ефективність при вирощуванні амаранту одержано при внесенні аміачної селітри та карбаміду [223]. Є дані, що вище забезпечення азотом призводить до підвищення продигової провідності та транспірації [310].

У частині експериментальних досліджень підвищення врожайності забезпечило використання вермикомпосту з нормою внесення 5 т/га [552]. Є позитивні результати застосування органічних добрив у суміші з мінеральними [235, 278, 410]. Рекомендується вносити добрива в нормі 400 кг/га NRK плюс 100 кг/га карбаміду [278]. Внесення карбаміду разом з органічними і бактеріальними добривами забезпечувало підвищення урожайності до 1,751 т/га, тоді як на контролі без добрив вона становила лише 1,151 т/га [467].

Внесення органічних добрив, в кількості 5 т/га, та сумісне використання грибів арбускулярної мікоризи *Glomus clarum* підвищували врожайність амаранту [239]. Зокрема, внесення 400 кг/га пташиного сліду та використання суміші арбускулярних мікоризних грибів *Glomus* та *Acaulospora* забезпечували кращий розвиток кореневої системи та вищу врожайність [242]. Дослідження показали, що арбускулярні мікоризні гриби асоціації роду *Glomus* були домінуючими. Наявність грибкових компонентів у коренях та кількість спор у підставі зробило можливою асоціацію мікоризу з різним відсотком колонізації у представників *Amaranthaceae* [406].

Встановлено загальний позитивний вплив добрив на врожайність зеленої маси та насіння амаранту, а також диференціаційні реакції залежно від виду. Так, для виду *A. cruentus* вважається найбільш ефективним за вирощування на зелену масу на фоні $P_{60}K_{60}$ дозу N_{60} , для *A. hybridus* - N_{90} , а для *A. hypochondriacus* - N_{120} . Подальше збільшення дози азоту призводило до зайвого розгалуження рослин і зниження насіннєвої продуктивності [32]. За даними Dmytryeva O.F., розрахункова норма внесення мінеральних добрив для формування урожайності зеленої маси на рівні 60-90 т/га становить $N_{150}P_{190}K_{230}$ [341].

За результатами досліджень, в яких вивчалися три варіанти внесення азоту, отримано такі результати: на варіанті з внесенням N_{60} до сівби урожайність становила 1,52 т/га; за внесення N_{60} до сівби плюс N_{30} на стадії формування пагону вона зросла до 1,93 т/га; за триразового внесення азоту за схемою: N_{60} до сівби; + N_{30} у фазі утворення пагонів; + N_{30} у фазі суцвіття урожайність була найвищою – 2,03 т/га. Збільшення внесення азотних добрив сприяло збільшенню висоти рослин, довжини суцвіття, маси насіння на рослину, а також урожайності насіння та вихід сирого жиру та загального білку [390].

Для підвищення врожайності зерна та біологічної цінності білку, тобто накопиченню амінокислот ендогенних і екзогенних, таких як лізин, метіонін, лейцин і фенілаланін, найбільш доцільним видається позакореневе підживлення амаранту дозою 0,2 кг бору [293]. Рекомендується використовувати також мідь [295].

Внесення цинку не призводить до збільшення врожайності. Проте під впливом позакореневого підживлення амаранту цинком у дозі 0,5 кг/га підвищився вміст білку в насінні, включаючи альбумін і глобулін і незамінні амінокислоти, такі як фенілаланін, лізин, ізолейцин, лейцин, метіонін і валін. Тому внесення цинку можна вважати доцільним з огляду на покращення якості зерна [342]. Внесення 10 кг/га FeSO_4 під час сівби в рядки незначно підвищувало врожайність [470]. Доцільно проводити вапнування та вносити P_{50-60} і $\text{K}_{150-250}$ та мікроелементи B 2,0 кг/га, Cu 10,0 кг/га і Zn 5,0 кг/га або провести позакореневе підживлення в дозі: B 0,2 кг /га, Cu 1,0 кг/га і Zn 0,5 кг/га. [294].

Амарант характеризується високою адаптивністю до умов вирощування. Добрий попередник, фітомеліорант, підвищує родючість ґрунту [148]. Він не вимогливий до умов вирощування [253, 380] і його можна вирощувати на різних типах ґрунтів [324], є толерантним до несприятливих умов вирощування [344, 345]. Стверджується, що амарант – перспективна культура для рекультивації малородючих ґрунтів. На торфо-болотних ґрунтах норма внесення добрив становила $\text{N}_{45}\text{P}_{60}\text{K}_{120}$, що дозволило зібрати 48,5 т/га зеленої маси [234]. Урожайність амаранту може бути великою на ґрунтах з різним гранулометричним складом, у тому числі глинистих, сірих лісових, чорноземах звичайних та вилугових, темно-каштанових і лугово-степових, на ґрунтах з малим запасом гумусу та підвищеним вмістом солей [267].

За даними Дуди О. і Капштик М., амарант має зв'язок з азотфіксуючими бактеріями і збагачує ґрунт азотом [68, 69]. Про вплив на зростання біологічної активності ґрунту за вирощування амаранту свідчить наукова праця Skwaryło-Bednarz B. [528].

Зустрічаються дані, що амарант – рослина нітрофіл, тобто може формувати велику біомасу в стресових для більшості рослин низьких дозах азоту в ґрунті [267]. Рекомендується його вирощувати також на сидерати і для зниження токсичності ґрунту [287].

У зв'язку з великою різноманітністю даних, часто представлених, актуальним є вивчення впливу елементів живлення на формування

продуктивності амаранту та встановлення оптимальної норми мінеральних добрив за вирощування амаранту в умовах достатнього зволоження.

1.3. Вплив параметрів сівби на врожайність сортів амаранту

Амарант характеризується величезною біологічною різноманітністю, що нараховує 60-70 видів [264, 376, 544]. Багаті білком зерна кількох основних видів, зокрема *A. caudatus* L., *Amaranthus hypochondriacus* L. і *A. cruentus* L., споживаються як псевдозлаки та називаються зерновими амарантуми [324, 460, 506].

Amaranthus cruentus, відомий як червоний амарант, можна вважати особливо цікавою культурою завдяки його високій харчовій та функціональній цінності. Урожайність зерна восьми сортів *A. cruentus* показала значення, близьке до показників багатьох традиційних зернових культур, таких як ячмінь і овес, які традиційно використовують на кормах. Температура виду також добре пристосована до жаркого клімату, після чого видно амарант, подібний до кукурудзи та сорго, належать до класу рослин із C4-фотосинтетичним шляхом, здатним максимізувати ефективність фотосинтезу в умовах високої інтенсивності світла та високих [359, 360].

Дослідження різних зразків показали, що зразки *Amaranthus cruentus* сортів Mexicane та New Mexico були стабільними та високопродуктивними з урожайністю понад 2,7 т насіння на гектар, тоді як *Amaranthus hypochondriacus* сорти Помаранчевий Гігант і Бургундський мали вищий вміст олії, понад 5,7 % [357, 358].

Важливим видом є *A. caudatus* L., який культивують в Андах Перу, Болівії, Еквадорі та Аргентині. Досліджувані сорти мали високий вміст білка: 14,6 % і 14,7 % для сортів Сентенаріо і Оскар Бланко відповідно. Вміст жиру і вуглеводів був майже на одному рівні для обох сортів: 10,1 і 10,2 % та 82,8 і 82,0 % відповідно [353].

Особливо важливим є вибір виду *A. hypochondriacus* як замітника традиційних зернових через його потенціал як джерела корисних для здоров'я

біологічно активних сполук. Протеїн і жир показали вищий вміст, ніж у найважливіших зернових культур. Крім того, не тільки кількість, але й ліпідний склад зерен *A. hypochondriacus* вражає своєю харчовою цінністю та корисними властивостями для здоров'я [460].

Амарант *A. hypochondriacus* стійкий до абіотичних стресів, тому його можна вирощувати в умовах, де традиційні культури не ростуть, зменшуючи споживання води та використовуючи солону воду [482]. Амарант росте у помірних і тропічних регіонах і має деякі важливі агрономічні переваги, а саме швидкий ріст, здатність пристосовуватися до несприятливих умов вирощування та стійкість до високих температур [502].

В умовах Ірану вивчалися сорти виду *Amaranthus hypochondriacus* Лера, Кім, Харківський 1. Результати показали, що сорт Лера формує вищий урожай в умовах помірного стресу, а сорт Кім - в умовах сильного стресу від посухи. Найвищий вміст протеїну спостерігався у сорту Харківський 1 - 15,94 %. Урожайність зеленої маси коливалася в межах 35-37 т/га [247].

В Україні амарант має різнобічне призначення, найбільше використовується як зернова культура, але є також сорти для озеленення, силосування, а також лікувального призначення [98]. Станом на 2021 рік у Україні зареєстровано 19 сортів амаранту. Розширенню посівних площ амаранту буде також сприяти створення високопродуктивних сортів для різних ґрунтово-кліматичних умов. Значний обсяг досліджень з цього напрямку виконано в Національному ботанічному саду ім. М.М. Гришка НААН України (Стерх, Кремовий ранній, Кармін), Інституті кормів та сільського господарства Поділля НААН (Легінь, Ацтек, Орхідея, Котигорошок), Харківському НАУ ім. В.В. Докучаєва (Ультра, Харківський 1, Надія, Студентський, Сем, Роганський) [52].

Потенційні можливості сучасних сортів цієї культури коливаються в межах 6–8 т/га. Проте середня врожайність зерна в Україні становить 2,8–3,5 т/га, а часто ще нижчою [71, 74]. У південному Степу урожайність становила лише 5,5–8,7 ц/га [128]. Сорт Дніпровський 1 в умовах Єрастівської дослідної станції ІЗГ НААН (Дніпропетровська обл.) залежно від норм добрив формував

урожайність на рівні 9,4-14,7 ц/га [93]. У Канаді урожайність сортів амаранту не досягала навіть 1 т/га [351]. За даними Пелех Л., серед досліджуваних сортів найвищу врожайність забезпечив сорт Геліос - 2,62 т/га, нижча врожайність була у сортів Ультра (2,25 т/га) та Лера (2,08 т/га) [473]. В умовах Румунії сорти амаранту виду *Amaranthus cruentus* формували таку урожайність: сорт Золотий велетень - 2,65 т/га і сорт Болівія – 2,38 т/га [556].

Найбільш поширеними сортами у виробництві в Україні це: Харківський 1, Лера, Ультра, Сем, Студентський, Геліос [13, 66, 69, 115].

Сорт Ультра (*A.hybridus*) районований для Степової, Лісостепової та Поліської зон, має урожайність 14 ц/га та використовується для виробництва зерна. Оригіном є Харківський національний аграрний університет ім. В. В. Докучаєва, внесено до Реєстру в 1998 році. Для цього сорту встановлена оптимальна густина перебування 54,8 рослин на 1 м².

Сорт Сем (*A.hypochondriacus*) також районований для всіх зон України, має вищу урожайність 25 ц/га і використовується для виробництва зерна. Внесено до Реєстру у 2002 році тим самим оригіном.

Сорт Лера (*A.hypochondriacus*) характеризується урожайністю 22 ц/га, також призначений для виробництва зерна та районований для всіх зон України. Внесено до Реєстру в 2002 році. Оригіном є Харківський національний аграрний університет ім. В. В. Докучаєва

Особливе місце займає сорт Харківський 1 (*A.hypochondriacus*), який має найвищу серед зернових сортів урожайність 50 ц/га, але використовується для лікування цілей. В умовах південної частини України норма висіву цього сорту рекомендується на рівні 1,0-1,5 кг/га [50]. Оригіном - Харківський національний аграрний університет ім. В. В. Докучаєва.

Сорт Студентський (*A.hypochondriacus*) районований лише для лісостепової зони, має урожайність 30 ц/га і використовується для виробництва зерна. Внесено до Реєстру в 2009 році. Оригіном - Харківський національний аграрний університет ім. В. В. Докучаєва.

Серед сортів для озеленення слід відмітити Надію, Роганський та Вогняну кулю (різних видів амаранту), які внесені до Реєстру в 2000-2001 роках.

Сорт Ацтек має урожайність 40 ц/га і використовується для виробництва зерна, оригіном є Інститут кормів та сільського господарства Поділля Національної академії аграрних наук України. Внесено до Реєстру в 1998 році.

Для силосного використання розроблені сорти Атлант, Кармін, Кремовий ранній та Стерх з урожайністю 8 ц/га.

У табл. 1 наведено деякі характеристики та ареали розповсюдження сортів амаранту, які були виведені в Україні.

Таблиця 1.1

Основні характеристики найбільш поширених сортів амаранту України

Сорт	Зона вирощування	Вид	Урожайність, ц/га	Використання	Оригіном	Внесено до Реєстру
Ультра	С,Л,П	<i>A.hybridus</i>	14	зерно	ХДАУ	1998
Сем	С,Л,П	<i>A.hypochondriacus</i>	25	зерно	ХДАУ	2002
Лера	С,Л,П	<i>A.hypochondriacus</i>	22	зерно	ХДАУ	2002
Харківський 1	С,Л,П	<i>A.hypochondriacus</i>	50	лікувал.	ХДАУ	2001
Студентський	Л	<i>A.hypochondriacus</i>	30	зерно	ХДАУ	2009
Надія	С,Л,П	<i>A. caudatus</i>		озеленен	ХДАУ	2000
Роганський	С,Л,П	<i>A. caudatus</i>		озеленен	ХДАУ	2001
Вогняна куля	С,Л,П	<i>A.mantegazzianus</i>		озеленен	ХДАУ	2000
Ацтек	С,Л,П	<i>A. cruentus</i>	40	зерно	ІКСГП	1998
Атлант	Л,П	-		силос	ІКСГП	1994
Жайвір	С,Л	<i>A. caudatus</i>	60	зерно	*Бот.сад	2010
Кармін	Л,П	<i>A. caudatus</i>	8	силос	*Бот.сад	2010
Кремовий ранній	П	<i>A. caudatus</i>	9	силос	*Бот.сад	2010
Орхідея	С,Л	-	40	зерно	*Бот.сад	1999
Стерх	Л,П	<i>A. paniculatus</i> L. × <i>A. caudatus</i> L	8	силос	*Бот.сад	2010
Рушничок	С,Л	<i>A. caudatus</i>	8	озелен	*Бот.сад	2010
Геліос	С,Л	<i>A. cruentus</i>	30	лікувал	*Бот.сад	2010

* Національний Ботанічний сад ім.М.М.Гришка

Особливий інтерес представляють сорти селекції Ботанічного саду: Жайвір (*A. caudatus*) з урожайністю 60 ц/га для виробництва зерна, Орхідея з

урожайністю 40 ц/га для виробництва зерна (для цього сорту встановлена оптимальна густота перебування 44,7 рослин на м^2), та Геліос (*A. cruentus*) з урожайністю 30 ц/га для лікувальних. цілей.

Рівень урожайності зерна амаранту найбільше залежить від кількості рослин на одиниці площі та їх індивідуальної продуктивності, що робить питання оптимальної норми висіву критично важливим для успішного вирощування цієї культури. Кількість рослин найбільше залежить від норми висіву, що обумовлює необхідність ретельного дослідження та оптимізації цього елементу технології. Зустрічаються різні рекомендації щодо норм висіву амаранту як у ваговому вимірі (кг/га), так і в кількісному (млн/га), при цьому більшість дослідників вказують норми висіву у кількісному вимірі, що дозволяє більш точно контролювати густоту посіву.

Фундаментальним аспектом у визначенні оптимальних норм висіву є розуміння показника критичної густоти, при якому конкуренція між окремими рослинами в посіві стає істотною, а їх продуктивність у посіві стає значно меншою за максимальну індивідуальну. За результатами досліджень цей показник становить 6,3 рослин/ м^2 [131]. Ця величина є критично важливою для розуміння механізмів впливу густоти посіву на врожайність та пропуск про необхідність точного балансування між густотою посіву та індивідуальною продуктивністю рослин.

Встановлені математичні моделі Когут С. Г. зробити науково обґрунтованим висновок, що оптимальною є густота стояння 54,8 рослини амаранту на 1 м^2 для сорту Ультра та 44,7 рослин на м^2 для сорту Орхідея [86, 88]. Ці дані чітко демонструють сортоспецифічність оптимальної густоти посіву та необхідність індивідуального підходу до різних генотипів амаранту за розробки технологій вирощування.

Аналіз літературних джерел виявляє цікаву закономірність щодо ефективності найнижчих норм висіву амаранту. За даними досліджень проведених у Львівському державному сільськогосподарському інституті, за вирощування амаранту на зерно оптимальною нормою висіву є надзвичайно

низька норма 300 г/га, що відповідає 37 насінинам на 1м² за маси 1000 насінин 0,8 г та лабораторної схожості 85 %. Для порівняння, при вирощуванні на зелену масу рекомендується дещо вища норма 400 г/га, що відповідає 50 насінинам на 1м². Оптимальна густота під час росту і розвитку при таких нормах висіву становить 10-25 рослин на 1м² [144].

Подібні результати були отримані в більш ранніх дослідженнях, де найвища врожайність формувалася за значно меншої норми висіву, лише 300 г/га. Важливо відмітити, що підвищення норми висіву понад цю величину призвело до зменшення зернової продуктивності, що виробляє про оптимальність саме низьких норм висіву для деяких умов вирощування. Більш того, норма висіву 200 г/га забезпечувала вищу врожайність, ніж 400 г/га, що підтверджує концепцію про переваги зріджених посівів амаранту в певних агроєкологічних умовах [108].

Ефективність найнижчих норм висіву також підтверджується дослідженнями, де найвища врожайність формувалася за сівби з міжряддям 45 см і норми висіву всього 0,25 млн/га [264]. Ці результати вказують на унікальні біологічні особливості амаранту як культури, здатної до високої індивідуальної продуктивності при низькій конкуренції між рослинами.

В умовах Південного Степу України оптимальна норма висіву амаранту сорту Орхідея демонструє значну варіабельність залежно від способу сівби і коливається в межах 0,6 – 1,2 кг/га [83]. Ця широка амплітуда норм висіву демонструє складність взаємодії між генотипом, способом сівби та агроєкологічними умовами конкретного регіону.

Також є результати досліджень з вирощування амаранту на зелену масу, де найвища врожайність формувалася за висіву 0,6 кг/га за сівби 15 червня широкорядним способом з міжряддям 70 см. При цьому встановлено чіткі кореляції між кількісними та ваговими нормами висіву: за висіву 0,6 млн. нас./га масова норма становила 1,8 кг/га, за 0,3 млн нас./га – 0,9 кг/га, за 0,2 млн нас./га – 0,6 кг/га [341].

Практичні рекомендації щодо розміщення рослин у рядку вказують, що на 1 метрі довжини рядка доцільно залишати 10-12 рослин [50]. Ця рекомендація корелює з результатами досліджень, де за таких умов на 1м рядку розміщується до 10 рослин за норми висіву 1,0 млн/га, а до збирання врожаю найкраще мати 100-150 тис рослин на га [68, 69].

Найбільш розширеною та науково обґрунтованою є рекомендація використовувати норму висіву 1,0 млн/га, яка підтримується численними дослідженнями різних науковців. Ця норма висіву забезпечує оптимальне співвідношення між густотою посіву та індивідуальною продуктивністю рослин, при чому за таких умов на 1 м рядка розміщується до 10 рослин, а до збору врожаю оптимально мати 100-150 тис. рослин на га [68, 69]. Така ж норма висіву 1,0 млн/га пропонується і в інших незалежних дослідженнях [71, 227].

Комплексні дослідження показують, що оптимальною нормою висіву при використуванні амаранту на зерно для всіх досліджуваних сортів є 0,9 кг/га. У середньому за три роки спостережень урожай за такою нормою висіву перевищував більш зріджені посіви на 9,6-31,6 %, а більш загущені посіви – на 21,2-38,8 % [85, 86].

У дослідженнях, проведених Дудкою М.І. у Північному Степу, досліджувалися дещо вищі норми висіву в області 0,75; 1,0; 1,25 і 1,50 кг/га. Результати чітко показали, що найбільша врожайність формувалася за норми висіву 1,0 кг/га, де вона становила 1,77 т/га за густоти стояння рослин 59,3 рослин/м² [74].

Деякі дослідники рекомендують дещо вищу норму висіву 1,5 млн/га для ширини міжряддя 60 см [147]. Для умов Південної України норма висіву для сорту Харківський 1 на рівні 1,0-1,5 кг/га [50], що відображає регіональні особливості та адаптацію до місцевих агроекологічних умов.

За вирощування амаранту на зерно в умовах Південного Степу України деякі дослідники пропонують значно вищі норми висіву - 2,25 млн. шт./га схожого насіння за широкорядного способу сівби з міжряддями 60 см [22, 48]. Ці рекомендації базуються на специфічних агроекологічних умовах регіону, що

характеризуються високими температурами та обмеженою кількістю вологи, що може вимагати підвищеної густоти посіву для забезпечення стабільних урожаїв.

Диференційований підхід до норм висіву залежно від групи стиглості сортів демонструють результати досліджень, згідно яких скоростиглі сорти для одержання врожайності на рівні 1,8 - 2,4 т/га доцільно вирощувати як широкорядним так і рядковим способом з нормою висіву 2 кг/га, тоді як для високорослих сортів з рівнем урожайності 2,2 - 2,9 т/га кращим способом сівби є широкорядний з нормою висіву 1 кг/га. За сівби рядковим способом з міжряддями 15 см та нормою висіву 2 кг/га перед збиранням формувалось 29,0-35,0 рослин/м², тоді як за широкорядного способу сівби з міжряддями 45 см та нормою висіву 1 кг/га перед збиранням було 17,0-20,0 рослин/м² [264]. Максимальні норми висіву, які зустрічаються в літературі, сягають 2,5 кг/га [536].

Дослідження густоти стояння рослин як інтегрального показника ефективності норм висіву показують складні та іноді суперечливі результати. Аналіз дослідних даних демонструє, що густота рослин є важливим інтегральним показником для встановлення оптимальної норми висіву амаранту. Зокрема, вища врожайність амаранту була зафіксована за густоти рослин 62,5 шт/м² і була меншою за густоти 111 шт/м² [388], що вказує на існування оптимуму густоти, при перевищенні якого відбувається зниження продуктивності через посилення внутрішньовидової конкуренції.

Зерновий амарант демонструє оптимальні показники врожайності зерна за щільності посіву 60 рослин на м² [454]. Подібні результати були отримані в інших дослідженнях, де максимальна продуктивність була зафіксована за густотою рослин 60000 на 1 га [454], що відповідає 6 рослинам на м².

В умовах Румунії проведені дослідження показали більш складну картину залежності урожайності від густоти рослин. За результатами досліджень, які включали 12 різновидів видів: *A. cruentus* і *A. hypochondriacus*, середня свіжа біомаса амаранту становила 332,38 ц/га за щільності 70 000 рослин/га та 390,82 ц/га за густоти 100 000 рослин/га. Тоді як врожайність зерна склала 36,533 ц/га

для першого варіанту щільності та 40,235 ц/га для другого [415]. Однак інші дослідження в тому ж регіоні показали, що оптимальна густота становила 70000 та 100000 рослин на 1 гектарі [499].

Найвищу врожайність у розділі 2,8 -3,2 т/га отримували за густоти 30 – 60 рослин/м² [308], що знову ж таки підтверджує оптимальність помірної густоти посіву. Проте деякі дослідження показують ефективність значно вищих густот, зокрема найбільша врожайність формувалася за густоти 140 р/м² [273, 479]. Збільшення густоти рослин від 17 до 140 шт/м² призвело до зростання врожайності зерна для сорту Анна від 1197 до 8447 кг/га, а для сорту Амар – від 982 до 6685 кг/га [273, 479]. Ці результати показують величезний потенціал оптимізації урожайності через регулювання густоти посіву, проте потребують подальшого вивчення механізмів такого впливу.

Деякі дослідження показують результати, коли густота рослин не впливала на врожайність і якість зерна за вивчених сортів амаранту з густотою 8, 17, 35 рослин/м². Урожайність була в межах 2,2 т/га – 3,0 т/га і змінювалася залежно від сорту, а не від густоти [353].

Практичні рекомендації для українських сортів вказують, що сорти Харківський 1, Лера, Геліос, Сем, Студентський сорт висівають з густотою 10-15 штук на один метр довжини рядка, тоді як для низькорослого сорту Ультра застосовують вища густота – 20 насінин на метр рядка [50].

Дослідження, проведені в Одеській області, дозволили встановити оптимальні норми висіву для конкретних сортів в умовах південного регіону України. Вивчалась залежність урожайності двох сортів Харківський 1 та Лера від різних норм висіву: 90; 120; 150; 180 тис. рослин на 1 га. Результати показали, що найбільша врожайність зерна амаранту була досягнута за норми висіву 150 тис.шт/га: у сорту Лера становила 3,34 т/га, у сорту Харківський 1 - 3,06 т/га. Подальше збільшення або зменшення щільності посіву призводило до падіння рівня урожайності [92].

В дослідженнях з встановлення оптимальної норми висіву два види *Amaranthus cruentus* (сорт Амар,) та *Amaranthus hypochondriacus* (сорт Анна),

були висіяні в кількості 17, 35, 70 та 140 рослин м^2 з міжряддям 30 см. Результати показали вплив сорту на масу 1000 насінин, середня маса 1000 насінин для сорту Амар становила 0,61 г і для сорту Анна становила 0,65 г, але сорт істотно не впливає на врожайність насіння. Збільшення популяції рослин зменшило масу тисячі насінин, і в обох сортів маса 1000 насінин було найбільша за 17 рослин на м^2 [479]. Подібні результати одержано також в інших дослідженнях. Два генотипи *Amaranthus cruentus* і *Amaranthus hypochondriacus* вивчалися з густотою 17, 35, 70, 140 рослин/ м^2 за міжряддя 30 см. Найвища врожайність отримана за густоти 140 рослин/ м^2 [273].

Дослідження в Східній Австрії були спрямовані на встановлення оптимальної густоти посівів адаптованих зернових видів амаранту. Сорти Neuer Typ, Mittlerer Typ (*A. hypochondriacus*) і Amar (*A. cruentus*) вивчалися за густот 8, 17 і 35 рослин/ м^2 . Урожайність за ручного збирання становила від 2200 до 3000 кг/га. Досліджувані види амаранту відрізнялися масою 1000 насінин (0,55–1,04 г), тривалістю вегетації від сівби до збирання (97–130 днів). Якість зерна була в таких діапазонах: сирий протеїн 15,2–18,6 %, сирий жир 5,4–8,6 %, вміст клітковини 3,5–4,2 %, золи 2,7–3,2 %, вуглеводів 66,7–72,7 %. Зроблено висновок, що густота посіву не вплинула ні на врожайність, ні на якість зерна [353].

Густота рослин суттєво впливала на продуктивність рослин *Amaranthus hypochondriacus* L. сорту Mercado. Найвищу врожайність (1,97 т/га) одержали за внесення мінеральних добрив у нормі $\text{N}_{120}\text{P}_{40}\text{K}_{20}$ і за густоти 260 417 рослин/га [493]. За результатами досліджень, проведених в Ірані, серед трьох варіантів густоти: 6,6, 8,3 і 11,0 рослин/ м^2 , густота рослин 6,6 рослин/ м^2 забезпечила найвищу врожайність амаранту – 1,17 т/га [434]. Такі дані, одержані в інших дослідженнях, де максимальна продуктивність була за густоти рослин 60000 на 1 га [272, 454]. Останні дослідження 2025 року підкреслюють значення оцінки та використання генетичного різноманіття зернового амаранту для сталих систем землеробства [543].

Отже, в науковій літературі немає однозначних даних про оптимальну щільність рослин амаранту. Багато експериментів дали різні, часом

суперечливі дані, що вказує на необхідність проведення додаткових комплексних досліджень з урахуванням сортових особливостей, ґрунтово-кліматичних умов та призначення вирощування. Таким чином, оптимізація норм висіву амаранту в умовах Лісостепу західного є комплексним питанням, що потребує врахування множини факторів: сортових особливостей, ґрунтово-кліматичних умов, способу сівби та призначення вирощування культури.

Вплив способів сівби на врожайність амаранту та глибини загортання насіння на врожайність амаранту

Оптимальна густота рослин амаранту на одиниці площі визначається не лише нормою висіву, а й площею живлення, яка формується внаслідок застосування певного способу сівби. Просторове розміщення рослин, зокрема, ширина міжрядь і відстань в рядку між рослинами, значною мірою впливає на світловий, повітряний, водний та поживні режими агроценозу, а також на індивідуальний розвиток рослин. Змінюючи структуру агрофітоценозу, можна цілеспрямовано впливати на біопродуктивність культури. При зменшенні міжрядь досягається рівномірніше розміщення рослин, що сприяє швидшому змиканню в рядках, кращому затіненню ґрунту, зменшенню випаровування вологи та пригніченню бур'янів. У той час як широкі міжряддя дозволяють краще розвиватися окремим рослинам за рахунок підвищення інтенсивності фотосинтезу, а також спрощують механізовані міжрядні обробки.

Проведені в різних ґрунтово-кліматичних умовах дослідження свідчать про неоднозначність впливу способу сівби на продуктивність амаранту, що зумовлює необхідність адаптації технології під конкретну зону вирощування. Умови Західного Лісостепу України, які характеризуються достатнім зволоженням, легкими та середніми за механічним складом ґрунтами, обумовлюють специфічний підхід до вибору параметрів сівби.

Результати експериментів, проведених Patel K.I. і ін. [470], свідчать про те, що за рядкового способу сівби спостерігалася найвища врожайність зерна

амаранту. Дослідження проводилися на чорноземах середнього типу в умовах Гуджарату (Індія), де рядкова сівба із шириною міжрядь 25 см сприяла підвищенню коефіцієнту використання світла в нижньому ярусі, збільшенню маси рослин та кількості насіння з рослини. Автори підкреслюють, що за оптимального поєднання ширини міжрядь і густоти стояння можна суттєво підвищити реалізацію біологічного потенціалу сорту амаранту [470].

У дослідженнях Casini P. і Biancofiore G. [307], проведених у Центральній Італії, зазначено, що міжряддя з шириною 18 см є значно продуктивнішим, ніж 60 см, як за врожайністю, так і за економічною ефективністю. Автори вказують, що зменшення ширини міжрядь дозволяє ефективніше використовувати простір, а також підвищує конкурентоспроможність амаранту щодо бур'янів на ранніх фазах розвитку. Проте через надмірну загущеність можливе погіршення провітрюваності посівів, що створює ризики для розвитку хвороб.

Вчені Rotich AN, Gweyi-Onyango JP та Korir NK [497], досліджуючи ефекти просторового розміщення амаранту в умовах Кенії, рекомендували схему 15×15 см. Така квадратно-гніздова сівба дозволяла забезпечити як оптимальну площу живлення для рослин, так і зручність механізованого догляду. Водночас, у Нігерії, за даними Olofintoye JAT, Adeniyi HA та Olagorite AA [455], серед схем 30×50 см, 40×50 см та 50×50 см, найвищу врожайність (до 3,4 т/га) сформували рослини *A. cruentus* за схемою посіву 40×50 см, що забезпечувало оптимальну густоту стояння рослин та найефективніше використання площі живлення. Дослідники наголошують, що менша густота забезпечила більшу масу 1000 насінин і розвиток більш розгалужених пагонів, що позитивно вплинуло на врожай.

У південному Степу України Гусєв М.Г. та Войташенко Д.П. [48] встановили, що оптимальним є висів амаранту на зерно з нормою 2,25 млн схожих насінин/га та міжряддями 60 см. Такий спосіб забезпечував добрий розвиток генеративних органів при мінімальному конкуруванні. Pelech L. [473] також підтверджує переваги широкорядної сівби. В умовах південного Степу за міжряддя 70 см сорти амаранту давали врожайність 2,08–2,62 т/га, тоді як за

вузькорядної сівби (15 см) урожайність була значно нижчою – 1,43–1,60 т/га. Аналогічно, за даними Dmytryeva OF [340], широкорядний спосіб сівби забезпечив вищу врожайність зерна та меншу залежність культури від погодних умов.

Однак, як зазначають Nurse RE, Obeid K. та Page ER [447], в умовах Канади ширина міжрядь істотно не вплинула на рівень урожайності, проте ширші міжряддя значно полегшували боротьбу з бур'янами та проведення механізованого догляду.

Досить багато науковців, у тому числі, Гудковська Н.Б., Гопцій Т.І. [46], Дудка М.І. [72], Мішин С.М., Когут С.Г., Когут І.М. [131], Саратовський Л.І., Ващенко Т.Г., Казаян В.В. [264], Skwaryło-Bednarz B., Krzepińko A. [532], Зуєва Є.А. [264], дійшли висновку, що для вирощування амаранту на зерно оптимальною шириною міжрядь є 45 см. Такий спосіб дозволяє забезпечити як високу густоту стояння, так і ефективне використання площі живлення. Зокрема, сорт Харківський 1 демонстрував вищу продуктивність саме за широкорядної сівби з міжряддям 45 см [72].

У дослідженнях Когута С.Г. [86] встановлено, що широкорядна сівба з міжряддями 45 см забезпечувала на 18,0 % вищу врожайність сорту Ультра порівняно з двострічковою схемою. Аналогічно, Бехкіцький Ю.С., Антонів С.Ф., Рудницький Б.О. [9] підкреслюють, що сівба з міжряддями 45 см сприяє вищій насіннєвій продуктивності, тоді як збільшення ширини міжрядь до 60–90 см призводить до зниження врожайності через недостатню зімкнутість посівів і більшу витрату вологості.

Шелест В.К., Підпалій І.Ф., Бернадський І.В. [227] відзначають, що в умовах зрошення Центрального Лісостепу найбільша врожайність зеленої маси амаранту волотистого досягалася за ширини міжрядь 45 см та норми висіву 1,0 кг/га.

Згідно з монографією «Амарант: селекція, генетика та перспективи вирощування» авторів Гопцій Т. І., Воронков М. Ф., Бобро М. А. та ін [29], найвищу реалізацію насіннєвого потенціалу всіх трьох досліджуваних видів

амаранту забезпечувала схема 45×10 см, яка забезпечувала приріст урожайності на 10,7–26,0 % порівняно зі схемою 15×10 см. Це підтверджує також Дудка М.І. [72], який встановив, що за однакової норми висіву зміна лише способу розміщення (ширина міжрядь) забезпечувала зміну рівня врожайності: від 100 % за рядкового способу, до 111,7 % за ширини міжряддя 45 см і лише 90,5 % за ширини міжряддя 70 см.

Перед збиранням густота рослин була різною: за рядкової сівби (15 см) – від 29 до 35 рослин/м², за ширини міжрядь 45 см – від 17 до 20 рослин/м². Водночас, маса насіння з однієї рослини була найбільшою саме за міжряддям 45 см (17,8 г), що свідчить про кращу реалізацію індивідуального потенціалу рослин за умов зменшеного конкурентного тиску. Для високорослих сортів доцільно використовувати широкорядний спосіб сівби з нормою висіву 1 кг/га, тоді як скоростиглі сорти добре реагують на як вузькорядний, так і широкорядний способи за норм висіву до 2 кг/га. Маса 1000 насінин у досліджуваних сортів амаранту коливалася в межах 0,65–0,83 г, причому цей показник більше зумовлений генетичними особливостями сорту, ніж технологічними прийомами [264].

За результатами досліджень Дудка М. І., серед досліджуваних способів сівби більш ефективним виявився широкорядний (45 см) посів. Порівняно до суцільного рядкового (15 см) і широкорядного (70 см) посівів, урожайність зерна амаранту волотистого була більшою відповідно на 28,9 і 9,9 % [72].

У дослідників є різні рекомендації щодо глибини загортання насіння амаранту. Зустрічаються дані щодо необхідності сіяти мілко і оптимальна глибина сівби становить 1 см [258]. Рослини виду *Amaranthus cruentus* L. зійшли швидше і були урожайнішими за глибини сівби на 1 см, порівняно з варіантом 2 см [521].

Глибина сівби впливає на особливості росту кореневої системи рослини. Коренева система амаранту має унікальну будову. Формується два види коренів: мичкуватий, що вбирає вологу з верхнього шару ґрунту та стрижневий, який може проникати до 7-ми метрової глибини. Це одне з пояснень надзвичайно

високої посухостійкості амаранту. Частка стрижневого кореня при цьому становить близько 50 % від загальної маси кореневої системи, корені I-го порядку – 18–20 %, II-го порядку – 30–32 %. Бокові корінці розходяться, як правило, в боки на 20–25 см, рідше – до 60 см. Основна частина кореневої системи розміщується в шарі ґрунту 25–40 см [50, 96].

Глибина загортання насіння істотно впливала на польову схожість насіння амаранту. За літературними даними, найбільшу польову схожість 65,3 %, у середньому за 1993–1995 рр., мало насіння висіяне на глибину 2 см. Збільшення глибини загортання насіння від 4 до 8 см призводило до зниження цього показника на 5,0–48,0 %. З глибини 10 см сходи амаранту було одержано лише у 3,7–5,3 % насіння [9, 72].

Оптимальною глибиною загортання насіння амаранту під час сівби може бути навіть 0,5 см. Але схожість насіння підтримується на достатньому рівні за сівби на глибину до 4,0 см, що може бути використано за умов пересихання верхнього шару ґрунту [86]. Якщо ґрунт прогрівся до 14 °C і є достатня кількість вологи в його верхньому шарі, можна сіяти на глибину до 2 см [71]. В умовах північного Степу України амарант волотистий оптимально висівати на глибину 2 см починаючи з третьої декади квітня [72].

Польова схожість насіння амаранту залежала від глибини його загортання і в умовах Лівобережного Лісостепу. За глибини сівби 3 см залежно від виду (*A. cruentus*, *A. hybridus*, *A. hypochondriacus*) вона була найбільшою і становила 62–67 %. За мілкішої сівби на 1 см зменшилась до 55–58 %, а при сівбі на 6 см була найнижчою – 42–48 % [29, 41, 306]. Оптимальною глибиною загортання насіння амаранту є 3 см, з обов'язковим виконанням допосівного і післяпосівного ущільнення. Проведення післяпосівного ущільнення скорочує появу сходів на 4–5 днів, підвищує схожість на 22–26 % залежно від виду амаранту [29, 470, 497].

Отже, невизначеність щодо оптимального способу і глибини сівби амаранту вимагає поглибленого вивчення параметрів, які впливають на реалізацію урожайного потенціалу рослин залежно від щільності їх

розташування в агроценозах в умовах достатнього зволоження Лісостепу західного України.

Вплив строків сівби на формування продуктивності сортів амаранту

Строки сівби для амаранту є важливим технологічним чинником реалізації рівня продуктивності, що впливає на своєчасне одержання сходів і тривалість вегетаційного періоду, особливо при вирощуванні його на зерно. Дослідженнями встановлено, що лише за сівби в оптимальні строки рослини можуть повністю використати всі необхідні чинники для свого росту і розвитку та формування найвищої врожайності. Амарант відноситься до теплолюбних рослин. Для одержання дружних сходів ґрунт має прогрітись до 8–10°C. За температури понад 10°C сходи з'являються на 8–9-й день [104]. Міжнародні дослідження підтверджують ці дані. Згідно з рекомендаціями канадських дослідників, оптимальна температура ґрунту для проростання амаранту становить 18-24 °C (65-75°F) [581]. Американські фахівці також рекомендують висівати культуру наприкінці травня або на початку червня, коли температура ґрунту досягає принаймні 65°F (18°C) [258, 350, 362, 458].

Сівба в оптимальні строки скорочує період сівба-сходи, забезпечує підвищення польової схожості, сприяє зменшенню рівня забур'яненості порівняно з ранніми строками сівби [26]. Це підтверджується даними європейських досліджень, де оптимальний строк сівби визначено як середина травня з оптимальною густиною 30-40 рослин на м² [307].

Оптимальні строки сівби в умовах західного Лісостепу України припадають на 20-25 квітня. За більш ранніх строків сівби насіння амаранту проростало повільніше, зменшувалась польова схожість, що призводило до зниження урожайності. Урожайність знижувалась також за сівби у пізніші строки [110].

Детальніші дослідження вказують на оптимальні строки сівби амаранту в умовах західного Лісостепу України 20-30 квітня [175].

В умовах Лівобережного Лісостепу України оптимальним можна вважати проведення сівби в 1–2-й декаді травня, тобто при сталому прогріванні ґрунту вище 12°C [29].

Доведено, що в сприятливих умовах амарант забезпечував найбільшу врожайність при другому строку сівби та широкорядному способі – 4,9 т/га сорт Ультра та 5,1 т/га – сорт Студентський [46].

Для умов Південного Степу України дослідники рекомендують проводити сівбу за температури 18–20°C в шарі ґрунту 0–10 см, що припадає в більшості випадків на середину травня [24, 107]. У пізніших дослідженнях [100] для умов Південного Степу України дещо скорочують період оптимальності сівби – з середини першої декади до середини другої декади травня.

Для умов Черкаської області строки сівби теж припадають на кінець квітня. Сіють впродовж травня. У холодному ґрунті проростає впродовж 10–15 діб, за сівби у червні сходить за 3–5 діб [104].

На осушених торфових ґрунтах Сарненської дослідної станції Рівненської області сприятливіші умови для формування надземної маси теж складались за сівби амаранту 15 травня. Урожайність зеленої маси становила 400–500 ц/га [25].

В умовах Італії вивчались три строки сівби: 27 березня, 20 квітня та 4 червня. Вища урожайність була за ранніх строків сівби за суми температур за вегетацію 2100–2300 °C [307]. Дослідження Casini P. і Biancofiore G. також показали значення оптимізації строків сівби для підвищення продуктивності та поживної якості видів амаранту в умовах середземноморського клімату [306]. В ґрунтово-кліматичних умовах Марв-Дашті, (Іран) для вивчення впливу строків сівби та густоти рослин амаранту у 2013 році було проведено польовий експеримент. Польові дослідження проводилися з такими варіантами густоти рослин: 6,6, 8,3 і 11,0 рослин/м²; і строків сівби: 22 червня, 6 липня і 21 липня. Результати цього дослідження показали, що строк сівби та густота рослин мали значний вплив на кількість листків на рослині, діаметр стебла, суху вагу листя, суху вагу стебла, врожайність, швидкість росту культури та індекс площі листя. Найвищий урожай зеленої маси амаранту 11,7 т/га був отриманий за густоти 6,6

рослин/м² і дати сівби 6 липня. Крім того, в умовах експерименту врожайність амаранту також знижувалася із запізненням термінів сівби з 6 по 21 липня і значно збільшувала густоту стояння рослин з 6,6 до 11 рослин/м² [434].

За даними дослідників з Канади в умовах південного Онтаріо кращими є ранні строки сівби, з середини травня до кінця червня [447].

В південних регіонах України ранньостиглий сорт Ультра можна висівати до 15 липня, він досягає у жовтні, його потенціал до 3,5 т/га [247]. У середній смузі (Дніпропетровська, Кіровоградська області) висівати амарант післязнівно на зерно можна до 20 липня. Ближче до півночі – до 15 липня, а на крайній півночі України – до 10 липня. У 2021 році посіви після 19 липня на Житомирщині не сформували насіння через низьку суму температур та ранні приморозки [104]. У перший строк сівби фотосинтетичний потенціал виявився більшим, ніж у пізні строки за рахунок більш тривалого періоду вегетації [43].

Є також рекомендації сіяти ще пізніше у травні-червні, коли ґрунт прогрівається до 14–18 °С [66]. Краще сіяти за температури ґрунту 12–16 °С [50]. За іншими даними, на осушених землях оптимальні строки сівби припадають на першу декаду травня [234].

Встановлено, що строки посіву впливали на динаміку накопичення сухої речовини у рослин амаранту в лівобережному Лісостепу України [43].

Сучасні дослідження демонструють перспективи використання зерна амаранту у виробництві функціональних та спеціалізованих харчових продуктів, що додатково підкреслює важливість оптимізації агротехнологій, включаючи строки сівби.

Аналіз наукових досліджень показує, що оптимальні строки сівби амаранту в різних кліматичних зонах України варіюють від третьої декади квітня до другої декади травня, залежно від температурних умов та сортових особливостей. Міжнародний досвід підтверджує важливість дотримання температурних критеріїв для забезпечення високої продуктивності культури. Для розширення посівних площ амаранту в Україні необхідно вивчати та розробляти інтенсивні технології вирощування, що орієнтовані на конкретні

грунтово-кліматичні зони. Потребують уточнення майже всі елементи технології вирощування амаранту, в тому числі строки сівби, особливо з врахуванням особливостей сорту для максимальної реалізації його продуктивного потенціалу.

1.4 Система захисту агроценозу амаранту

Амарант належить до надзвичайно перспективних культур майбутнього, має потенціал для подолання деяких актуальних викликів сучасного сільського господарства, яке є частиною дуже нестабільних екологічних умов [253]. Культивування нових, нетрадиційних культур може супроводжуватись таким небажаним явищем як проникнення цих рослин у природні ценози, що вимагає детального вивчення біологічних особливостей культури та розробки відповідних агротехнічних заходів.

Необхідно зазначити, що переважна більшість видів щириці, поширені в Україні, мають темне забарвлення насіння. Лише 4 види (*A. paniculatus*, *A. caudatus*, *A. hypochondriacus*, *A. mantegazzianus*) мають насіння різних відтінків і кольорів – від темних до світлих. Окрім зовнішніх відмінностей насіння відрізняється також і здатністю до виживання. В результаті вивчення біологічних властивостей насіння рослин роду *Amaranthus* встановлено, що доцільним є культивування видів та сортів із світлим забарвленням, при осипанні насіння яких відсутні проблеми з падалицею [6]. Світле насіння навесні не дає сходів, що є важливою біологічною особливістю при виборі сортів для комерційного вирощування. Стверджується, що чорне насіння більш властиве для малопоширених диких видів, а світле - для добре окультурених високоврожайних [573]. Шляхом проведення провокаційних посівів під зиму встановлено, що тільки чорнонасінні форми амаранту здатні утворювати падалицю. Це свідчить про можливість використання білонасінних форм амаранту без побоювань за утворення падалиці [209].

Вирощування амаранту створює дві основні проблеми з агротехнічної точки зору. По-перше, втрати дрібного насіння під час збору врожаю є значними і падалиця амаранту може забур'янювати посіви наступних культур в сівозміні,

створюючи додаткові проблеми в системі землеробства. По-друге, амарант росте повільно після появи сходів і, отже, дуже чутливий до конкуренції з бур'янами, що вимагає особливих підходів до захисту рослин.

Амарант має дрібні слабо конкуруючі сходи, тому дуже пригнічується бур'янами. Найбільшої шкоди вони завдають на початку розвитку амаранту – в перший місяць після появи сходів. Після фази шести листків в амаранту інтенсивно росте коренева система, тому ріст у висоту сповільнюється, але конкурентна здатність рослин значно підвищується [11].

У технології вирощування амаранту майже не вивчено можливість застосування засобів захисту рослин. Якщо амарант, за існуючих невеликих площ посіву, майже не уражується хворобами, то з контролем за бур'янами і шкідниками є багато проблемних питань.

Для боротьби з бур'янами у посівах амаранту застосовують, переважно, біологічні методи [50]. Боротьба з бур'янами здійснюється шляхом поверхневих обробітків перед сівбою, боронування, міжрядного розпушування, ручного прополювання [13; 19]. Менша забур'яненість посівів амаранту була за якісного основного обробітку ґрунту та чотириразового обробітку після сівби [361]. Якісний передпосівний обробіток ґрунту та дво-триразове розпушення міжрядь забезпечувало вищу врожайність (3,35 т/га), ніж при використанні гербіцидів (2,49 т/га) [332], що свідчить про високу ефективність механічних методів за умови їх правильного застосування. Щойно добре позначаються рядки сходів, слід провести перший обробіток міжрядь на глибину 3-4 см переважно плоскоріжучими бритвами. Другий міжрядний обробіток здійснюють через 12-16 днів після першого, застосовуючи стрільчасті лапи-підгортальники. Глибина обробітку – 5-6 см. У рядках утвориться гребінь заввишки 6-7 см і завширшки 20-22 см, що присипає бур'яни [263]. На ранніх фазах амарант повільно росте, тому є необхідність проведення декількох прополок від бур'янів, що істотно збільшує затрати.

Польові дослідження, проведені у 2018 та 2019 роках у Центральній Італії з порівняння деяких механічних обробітків для боротьби з бур'янами на

зерновому амаранті (*Amaranthus cruentus* L.) показали, що важливим є також вибір оптимальної густоти рослин і правильної відстані між рядками для легшого механічного контролю. Амарант може конкурувати з бур'янами з фази 10 листків (40 днів після сходів) [307].

В дослідженнях, проведених у Польщі, дослідники Deryło S. і Chudzik L. вивчали вплив різних способів основного обробітку ґрунту на врожайність культурного амаранту (*Amaranthus hypochondriacus* L.). Результати показали, що деякі менш інтенсивні методи, зокрема мілкий і дисковий обробіток, можуть забезпечувати стабільний врожай та сприяти збереженню ґрунтової вологи [332].

Польові експерименти, проведені David O. Ojo в Ібадані (Нігерія), щоб визначити оптимальну частоту прополювання для боротьби з бур'янами у зернового амаранту (*Amaranthus cruentus* L.), показали диференційовані результати залежно від цілей вирощування. Дворазове прополювання через 2 та 5 тижнів після сівби було оптимальним для показників параметрів висоти рослин, кількості листя та свіжої маси стебел; триразове прополювання через 2, 5 та 8 тижні після сівби було оптимальним для показників сухої маси стебел та врожайності зерна; тоді як чотириразове прополювання при 2, 5, 8 та 11 тижні після сівби було оптимальним для показника вмісту білку в зерні [451].

В своїх дослідженнях Pandey R. N. і Yadav R. K. вивчали вплив різних методів контролю бур'янів на ріст і врожайність зернового амаранту (*Amaranthus hypochondriacus* L.) в умовах Північної Індії (Файзабад, Уттар Прадеш). Експеримент включав порівняння ручного прополювання, міжрядної культивування, мульчування та варіантів із застосуванням гербіцидів. Найвищі врожайність зерна і біомаси були отримані при поєднанні дворазового ручного прополювання (на 20-й та 40-й дні після сівби) з міжрядним розпушуванням. Результати підтверджують ефективність механічних методів як екологічно безпечної альтернативи гербіцидів для амаранту [465].

На дуже засмічених ділянках потрібно застосовувати хімічний метод захисту [263]. Тому доцільним є також вивчення можливості внесення гербіцидів на посівах амаранту [477]. Як вказують Casini P. і ін., на даний час гербіциди для

зернового амаранту в Європі, США та Південній Америці не зареєстровані, що створює значні проблеми для широкомасштабного комерційного вирощування культури [307].

Майже немає досліджень щодо стійкості амаранту до гербіцидів. Результати досліджень показали, що амарант дуже чутливий до гербіцидів проти широколистих бур'янів. З досліджених гербіцидів амарант переносив лише діючі речовини кломазон, клопіралід, фенмедифам і трифлусульфурон. Застосування кломазону у ранній післясходовій фазі замість досходової забезпечувало повну толерантність культури навіть при найвищих дозах. Післясходові гербіциди фенмедифам і трифлусульфурон завдавали менше шкоди культурам на стадії 4-6 листків порівняно зі стадією 2-4 листків, тоді як клопіралід був селективним на обох стадіях росту [393]. Про стійкість проти клопіраліду вказують також інші дослідники [330].

Є рекомендації для хімічного контролю бур'янів використовувати гербіциди, що зареєстровані на цукровому буряку: Бетанал Макс Про, Дуал Голд, Карібу, Пірамін Турбо, Фронт'єр Оптіма, Фюзілад Форте, Арамо 45 [19, 75].

Частина дослідників рекомендують використовувати для контролю за бур'янами у посівах амаранту діючу речовину оксифлуорфен з розрахунку 50 г/га [518, 552]. За іншими даними рекомендується ручне прополювання, або використання гербіцидів з діючими речовинами оксифлуорфен (50 г/га) і феноксипроп-етил (50 г/га) [311].

Проте, є ряд наукових праць про стійкість бур'янів роду *Amaranthus* до кількох класів гербіцидів. Зокрема, дослідники Braz G. B. P. і Takano H. K. проводили дослідження, які зосереджено на механізмах множинної резистентності, що спостерігається у видів *Amaranthus* у різних регіонах світу, та аналізі ефективності сучасних гербіцидів і комбінацій діючих речовин [300].

У дослідженні Wang, X., і ін. вивчено наслідки тривалого застосування гербіциду фомесафен для бур'янів, зокрема *Amaranthus retroflexus* L. (щириця звичайна), на полях у Китаї [579].

Результати дослідження, проведеного Beiermann, C.W. і ін., в умовах США показали, що обробка післясходово імазамокс + бентазон забезпечила поганий контроль *Amaranthus Palmer* і не призвела до постійного зниження щільності та біомаси порівняно з необробленим контролем. Дані щодо наявності інгібітор ацетолактатсинтази (ALS) та гліфосат-резистентний (GR) *Amaranthus Palmer* були підтверджені в Небрасці та широко поширені в кількох округах [286].

Desai L. J. дослідив ефективність інтегрованого управління бур'янами у посівах зернового амаранту (*Amaranthus hypochondriacus* L.) на дослідному полі Sardarkrushinagar Dantiwada Agricultural University (Сардаркрушінагар-Дантівада, Індія) [334]. У польовому дослідженні порівнювали десять схем контролю чисельності бур'янів в посівах зернового амаранту (*Amaranthus hypochondriacus* L.), включно з гербіцидами (pendimethalin, oxadiargyl, oxyfluorfen), механічною міжрядною культивуацією (inter-culturing) у 3–4 тижні після сівби, комбінованими підходами та чистим контролем [335].

Про доцільність поєднання хімічного та механічного захисту, яке дозволяє значно підвищити продуктивність і рентабельність вирощування зернового амаранту в субтропічних умовах зазначили Patidar, K., і ін. [471]. У статті Chaudari, D. I., і ін., представлено результати дослідження впливу інтегрованого захисту від бур'янів на формування продуктивності зернового амаранту (*Amaranthus hypochondriacus* L.) в умовах Південного Гуджарату, Індія [311].

Шкідники амаранту і засоби боротьби з ними

Специфічних шкідників, властивих тільки амаранту, на сьогодні не зареєстровано. Це полегшує протидію їм, оскільки не вимагає розробки і пошуку спеціальних засобів, які зберегли б урожай. Більшість шкідників амаранту є поліфагами, що дозволяє використовувати наявний досвід захисту інших сільськогосподарських культур від аналогічних видів шкідливих організмів.

Серед комах, які здатні пошкодити рослини амаранту зустрічаються найчастіше такі: звичайна бурякова блішка, південна бурякова блішка, західна бурякова блішка, хрестоцвіті блішки (найчастіше хвиляста і велика смугаста), бурякова попелиця (листова попелиця, бобова попелиця), звичайний буряковий

довгоносик, сірий буряковий довгоносик; амарантовий стеблоїд, луговий метелик; совка підгризаюча [17, 56, 318, 512].

За іншими даними, із шкідників можуть пошкоджувати попелиця, буряковий довгоносик, амарантовий стеблоїд. Частина дослідників бачить більшу проблему в поширенні інших шкідників. Серед шкідників найбільш масовими і небезпечними є бобова попелиця та амарантовий стеблоїд [17, 468].

Бурякова блішка відноситься до сімейства листоїдів і шкодить зеленій частині амаранту. Жуки прогризають листя наскрізь, створюючи характерні отвори. Після масового нашествия шкідників до 45 % листя перетворюється в «сітку» різного ступеня прорідження. Стебла бурякова блішка не чіпає, проте її личинки їдять коріння. Личинки, на відміну від дорослої блішки, особливої шкоди не завдають. Коренева система амаранту досить сильна для того, щоб майже без втрат пережити поїдання личинками незначної частини. Однак рослина слабшає, що може зробити її менш стійкою до інших видів шкідників і несприятливих умов. Найбільшої шкоди бурякова блішка завдає сходам амаранту. Поріг шкодочинності для амаранту становить понад 25 жуків на 1 м², незалежно від погодних умов, і 10–25 жуків на 1 м² за умови прохолодної і сухої весни. Ці показники є критично важливими для прийняття рішення про необхідність проведення захисних заходів [17; 320].

Хрестоцвіті блішки також належать до листоїдів. Хрестоцвіті блішки за рахунок стрибучості здатні в короткий термін окупувати досить великі території. Шкоду, заподіяну амаранту, приблизно можна порівняти зі шкодою від бурякової блішки. Вони таким же чином прогризають листя і здатні з'їсти до половини зеленої маси. Причому від густоти посіву це залежить мало: жуки дуже швидко переміщуються на сусідні рослини незалежно від віддаленості. Однак хрестоцвіта блішка більш теплолюбна, ніж бурякова. Зважаючи на це, у більш холодних регіонах вона шкодить менше, зате в спекотних і схильних до посухи регіонах поводить значно активніше [17; 320].

Буряковий довгоносик прогризає всередині стебло, що може призводити до значних втрат урожаю. Шкідник представлений кількома видами: звичайний

буряковий довгоносик та сірий буряковий довгоносик. Обидва види можуть завдавати значної економічної шкоди посівам амаранту. Серед стеблових довгоносиків особливо небезпечними є *Hypolixus truncatulus* (F.) та *H. nubilosus* (B.). Дорослі довгоносики живляться листям, але личинкова стадія є більш шкідливою, оскільки вони буравлять коріння та стебла. Дорослий довгоносик відкладає яйця у розгалуженнях гілок, а личинки пробуравлюють стебла до кореневої шийки, спричиняючи порожнини у стеблах, що робить їх більш схильними до ламання вітром [17]. Знайдено два зразки стійкі до листових та стеблових довгоносиків [461], що відкриває перспективи селекційної роботи з підвищення стійкості амаранту до цих шкідників.

Серед попелиць найбільшу шкоду завдають бурякова попелиця, листова попелиця та бобова попелиця, зокрема *Myzus persicae* S. [512]. Трапляється попелиця досить часто в посівах амаранту. Попелиці пошкоджують рослини, висмоктуючи соки з листків та молодих пагонів, що призводить до ослаблення рослин та зниження врожайності [17].

Згідно з дослідженнями в Кенії, 87 % фермерів повідомляють про попелиць як основну проблему, ранжуючи їх як шкідника номер один листового амаранту у всіх чотирьох округах дослідження. Попелиці є найбільш поширеними шкідниками амаранту в Східній Африці [440].

Серед лускокрилих дефоліаторів особливо небезпечним є гавайський буряковий павутинник *Spoladea recurvalis* (Fabricius) (Lepidoptera: Crambidae), який вважається найбільш шкідливим шкідником амаранту [438]. Цей вид здатний спричинити до 100 % втрати листя під час серйозних спалахів [461]. Личинки *S. recurvalis* можуть завдавати серйозної шкоди, особливо в умовах високої щільності популяції.

До складу ентомокомплексу амаранту також входять інші види лускокрилих: *Spodoptera litura*, *Heliothis armigera*, *Spodoptera littoralis*, *Psara basalis* Walker, *Herpetogramma bipunctalis* F. [512, 315]. Встановлено, що понад 50 видів комах здатні жити на амаранті, серед яких листогризи є основними шкідниками у всьому світі [383].

Останні дослідження показують поширення совки кукурудзяної (*Spodoptera frugiperda*) на амаранті в різних регіонах світу [420]. Цей поліфаг може завдавати значної шкоди як листковому, так і зерновому амаранту, особливо в умовах зміни клімату та розширення ареалу шкідника.

Серед мінерів листків особливо небезпечною є південний американський мінер (*Liriomyza huidobrensis* (B.)) [512], який створює характерні ходи у листовій пластинці, знижуючи фотосинтетичну активність рослин та їх загальну продуктивність.

До складу ентомокомплексу амаранту також входять луговий метелик, совка підгризаюча, клопи роду *Cletus* sp. [512], які можуть спричиняти локальні пошкодження, особливо на ранніх стадіях розвитку культури. Клопи можуть завдавати серйозної шкоди суцвіттям та насінню, особливо під час критичної стадії наливу насіння [468].

Оптимальна система захисту для амаранту зазвичай передбачає 2-3 (найчастіше дві) обробки проти бурякового довгоносика та попелиці [17]. Така система дозволяє ефективно контролювати основних шкідників при мінімальних витратах на засоби захисту. Використовують у фазі 6-8 листків такі препарати: Актара, Ампліго, Енжіо, Карате Зеон, Моспілан, Нурел Д, Фастак [17]. Ці препарати забезпечують ефективний контроль основних шкідників амаранту.

Проти попелиць, клопів, совок, цикадок обробляють посіви такими препаратами: Актелік 0,8 л/га; Волатон 0,8 л/га; Маврік 0,15 л/га. Проти бурякової попелиці рекомендується Кінмікс 0,2 л/га. Проти блішки та попелиці ефективними є Бі-58-новий 1л/га; Карате Зеон 0,15 л/га [56].

Обприскування рекомендується проводити у фазі вилочки рослин амаранту, коли рослини найбільш чутливі до пошкоджень шкідниками. Для боротьби з буряковою блішкою використовують дельтаметрин у фазі 6-8 листків [337].

Найбільш дієвими і економічно ефективними є завчасні профілактичні методи контролю [422]. До них належать комплексні агротехнічні заходи, спрямовані на створення несприятливих умов для розвитку шкідників.

Боротьба з бур'янами є першочерговим завданням, оскільки вони найчастіше є причиною поширення блішок. Бур'яни стійкіші до погодних умов і тому є одним з улюблених місць кладки яєць шкідниками. Особливо бурякова блішка любить лободу, тому необхідно в першу чергу приділити увагу її знищенню [17].

Забезпечення амаранту необхідною кількістю поживних речовин, а також вирощування за оптимального температурного режиму й інших умов, які сприяють його силі та швидкому зростанню, є важливими елементами профілактики. Чим стійкіша рослина і чим раніше вона почала розвиватися в повну силу, тим менше буде шкоди від блішки всіх видів.

Виведення сортів амаранту, стійких до основних шкідників, є перспективним напрямком підвищення ефективності захисту рослин. Виявлення зразків, стійких до листових та стеблових довгоносиків, відкриває можливості для створення комерційних сортів з підвищеною стійкістю до шкідників. Склад шкідників амаранту може значно варіювати залежно від кліматичних умов регіону. Хрестоцвіті блішки більш активні в спекотних і схильних до посухи регіонах, тоді як в холодніших умовах їх шкодочинність знижується. Амарантовий стеблогриз є особливо небезпечним шкідником в умовах Харківської області, що вказує на необхідність регіональної адаптації систем захисту залежно від місцевих особливостей ентомофауни [17; 100].

Біологічний контроль є ефективною, економічною та екологічно дружньою альтернативою хімічному захисту рослин. У природних умовах популяції організмів часто зазнають нападів та високої смертності від хижаків, паразитів, паразитоїдів та хвороб, які колективно називаються "природними ворогами". Основна мета біологічного контролю полягає у пригніченні популяції шкідників та зменшенні завданої ними шкоди без застосування пестицидів або з їх зменшеним використанням. Природні вороги використовуються по-різному залежно від цільового шкідника, рослини-господаря, умов навколишнього середовища та життєвого циклу шкідника [422].

Серед хижаків, які контролюють шкідників амаранту, особливе значення мають сонечка (*Coleoptera: Coccinellidae*), які є поширеними хижаками попелиць у природних польових умовах. Дорослі особини та личинки сонечок активно живляться попелицями, забезпечуючи природний контроль їх популяції.

Також важливу роль відіграють павуки, які живляться комахами або іншими членистоногими і є корисними в агроценозах амаранту. Всі павуки є хижаками та сприяють зниженню чисельності шкідливих комах [17; 383].

Серед корисних комах, які мають потенціал для збереження як природні вороги та паразитоїди, які були зібрані на амаранті, виявлено представників двох рядів (*Coleoptera* та *Hymenoptera*), п'яти родин та 8 видів [438]. Мінітуальні паразитичні осички багатьох видів відкладають свої яйця у шкідників, таких як попелиці або гусениці; їх личинки, що вилуплюються, споживають шкідника та вбивають його.

Дослідження в Беніні показали, що міжкультурні посіви базилику з амарантом (*Amaranthus cruentus* L.) значно знижують чисельність бурякової молі (*Spoladea recurvalis* та *Psara basalis*) [279]. Обробка рослин амаранту, що чергуються з рядками базилику забезпечила найвищу врожайність та суттєво відрізнялась від інших обробок. Асоціація базилик-амарант зменшила чисельність *P. basalis* та *S. recurvalis*, а також покращила продуктивність амаранту на 1,16 т/га.

Дослідження 35 зразків амаранту виявили різні рівні стійкості до листових павутинників та стеблових довгоносиків [462]. Зразок VI036227 виявився високостійким проти шкідників, демонструючи зразковий антибіоз, спричиняючи 100 % смертність личинок протягом перших 36 годин, незважаючи на те, що він не був стримуючим для відкладання яєць. Зразки VI048076, VI056563 та VI047555-B продемонстрували помірну стійкість проти шкідника за специфічними параметрами, включаючи низьке відкладання яєць, помірну смертність личинок на ранніх стадіях та зменшену тривалість життя дорослих особин.

Біологічні методи контролю шкідників можуть використовуватися для досягнення більшої мети допомоги у відновленні екології та забезпеченні довгострокового екологічного здоров'я [422]. Інтегроване управління шкідниками (IPM) використовує поєднання знань про шкідників та методи контролю шкідників для безпечного та економічного управління шкодою від шкідників [571].

У програмах інтегрованого управління шкідниками важливо заохочувати природних ворогів, уникаючи пестицидів, які їх вбивають. Також можна заохочувати корисних комах, вибираючи рослини, які забезпечують їх пилом, нектаром та укриттям. Не всі комахи, бур'яни та інші живі організми потребують контролю. Багато організмів є нешкідливими, а деякі навіть корисними [571]. Програми інтегрованого управління шкідниками працюють для моніторингу шкідників та їх точної ідентифікації, щоб можна було прийняти відповідні рішення щодо контролю у поєднанні з пороговими значеннями дії [571]. Це означає використання біологічних методів, таких як сівозмінна, вибір стійких до шкідників сортів та використання незараженого посадкового матеріалу.

Дослідження 600 фермерів листового амаранту з чотирьох округів (Kiambu, Kisii, Kisumu та Vihiga) в Кенії показали, що 42 % всіх фермерів при вирощуванні листового амаранту контролювали популяцію попелиць за допомогою інсектициду, при цьому ефективність становила 34 % за використання синтетичних інсектицидів, та 8 % - за використання біологічних методів. Дослідження показали, що освітні програми та навчання фермерів щодо інтегрованого управління шкідниками у виробництві листового амаранту є необхідними. Потрібні додаткові польові дослідження для визначення успішних стратегій для контролю попелиць на листовому амаранті, які можуть включати біоконтрольні агенти, стійкість рослин-господарів та різноманітні культурні методи для зменшення кількості шкідників [440].

Зміна клімату та глобалізація торгівлі сприяють поширенню нових інвазивних видів шкідників. Совка кукурудзяна (*Spodoptera frugiperda*) є прикладом швидкого поширення поліфагового шкідника, який тепер загрожує

амаранту в нових регіонах [420]. Цей шкідник демонструє відмінну здатність до розсіювання та міграції.

Неправильне використання інсектицидів на інших культурах призвело до розвитку стійкості до інсектицидів, залишків пестицидів, повторного спалаху шкідників, вторинних інфестацій шкідниками, безпеки аплікаторів та проблем охорони здоров'я споживачів [440].

Хвороби амаранту і боротьба з ними

Амарант, як сільськогосподарська культура є цінним джерелом білку, вітамінів та мінералів. Важливою особливістю культури амарант є висока ефективність фотосинтезу. Подібно до кукурудзи, сорго, цукрової тростини, амарант відноситься до рослин з типом фотосинтезу C4. Амарант, як C4-рослина володіє високою інтенсивністю фіксації CO₂ в розрахунку на одиницю поверхні листка, швидко розвивається і росте, що сприяє високим темпам приросту біомаси. У зв'язку з цим для амаранту важливо не тільки формувати велику листову площу, але також забезпечити її захист від ураження фітопатогенами, збільшити тривалість функціонування. За існуючих на сьогодні невеликих посівних площ розвиток хвороб на рослинах амаранту є незначним. Однак із розширенням посівних площ та за сприятливих для розвитку збудників хвороб погодних умов та несприятливих для рослин умов вирощування в посівах можуть розвиватися мікози, спричинені грибами з родів *Fusarium*, *Cercospora*, *Colletotrichum*, *Alternaria*, *Rhizoctonia*, *Pythium* і *Cladosporium*, а також вірусні захворювання.

Амарант відомий адаптованістю рослин до умов вирощування, зокрема до спеки та посухи, а також стійкістю до шкідливих організмів, у т.ч. до збудників хвороб. У дослідженнях рослини амаранту характеризувалися високою стійкістю до фітопатогенів [119]. За літературними даними ця культура майже не уражується хворобами, в т.ч. внаслідок специфічного хімічного складу листків, зокрема вмісту поліфенолів [120]. Дослідження показали деяку фунгіцидну дію екстрактів амаранту, зокрема зафіксували ефективність проти мікозів екстрактів, виділених з *A. cruentus*, *A. hypochondriacus* і *A. hybridus*.

Досліджувані екстракти пригнічували ріст грибів *Fusarium equiseti*, *Rhizoctonia solani*, *Trichoderma harzianum* та *Alternaria alternata*. Меншу інгібіторну дію екстрактів було зафіксовано щодо *F. solani*, а щодо *F. oxysporum*, а щодо *Colletotrichum coccodes* вона взагалі не спостерігалася [375]. Подібні результати отримано в дослідженнях, де зазначено, що листя амаранту має антигрибну дію й екстракти з нього можуть бути використані в якості діючої речовини в біофунгіцидах [282]. Дослідники виділили з рослин амаранту олігопептиди та білки, що можуть використовуватись у захисті рослин, зокрема олігопептид, отриманий шляхом ферментативного розщеплення глобулінів амаранту, демонстрував ефективність у зв'язуванні збудників вірусу жовтого скручування листя томатів та знижував розмноження вірусу *Nicotiana benthamiana* [543].

Проте впродовж останніх років спостерігається наростання розвитку мікозів у посівах амаранту. Дослідники відмічають посилення ураження рослин амаранту фітопатогенами, які спричиняють кореневі гнилі та антракноз [17, 270]. У дослідженнях встановлено різну стійкість вирощуваних сортів амаранту до збудників антракнозу, церкоспорозу та ризоктоніозу [243]. Особливо небезпечним з огляду на харчову безпеку, як наголошують є ураження амаранту збудниками альтернаріозу [446]. У дослідженнях з ураженого листя виділяли переважно *Alternaria alternata* та гриби роду *Fusarium* [483, 484]. Також оцінювали ураженість культурного, дикого та декоративного видів роду *Amaranthus*: *A. cruentus*, *A. retroflexus* і *A. paniculatus* збудником білої іржі *Wilsoniana bliti*. Найсильніше ураження листків фітопатогеном спостерігалось у *A. retroflexus*, низький ступінь ураження листків був встановлений у *A. cruentus*, рослини *A. paniculatus* за період спостереження не інфікувалися [483]. Ступінь ураження найпоширеніших в Україні сортів амаранту білою іржею та септоріозом вивчав також Марков І. Л. [118, 119, 120]. Гриби *Fuzarium*, які спричиняють в'янення амаранту в країнах Африки вивчали Appiah-Kubi Z. І ін. [269]. Низка авторів вказують на високу шкідливість ураження стебла *Amaranthus cruentus* фомопсисом, збудником якого є гриб *Phomopsis amaranthicola* [483, 484], чому сприяє засміченість посівів дикорослими

формами *A. retroflexus*. Амарант може позитивно реагувати також на внесення фунгіцидів [291], що відкриває перспективи для комплексного захисту рослин від хвороб в умовах інтенсивного вирощування.

Отже, більшість елементів технології вирощування амаранту потребують додаткового вивчення з урахуванням ґрунтово-кліматичних умов зони вирощування. Використання адаптованих до умов вирощування сортів амаранту є важливим у плані забезпечення високої врожайності цієї перспективної культури.

На площах, що призначені для лікарських цілей використовують біологічні методи контролю бур'янів. На промислових великих площах ці методи не будуть ефективними і без використання засобів захисту одержати високу урожайність буде неможливо. Тому потрібно вивчити можливість використання гербіцидів, їх ефективність, сортову реакцію амаранту на них. Аналіз наукових досліджень показує, що найефективнішим підходом до контролю бур'янів у посівах амаранту є інтегрована система, що поєднує агротехнічні та хімічні методи. Механічні методи залишаються основними на невеликих площах та при органічному вирощуванні, тоді як для промислового виробництва необхідне застосування селективних гербіцидів у поєднанні з культивацією.

Проблема резистентності бур'янів роду *Amaranthus* до гербіцидів вимагає особливої уваги при розробці систем захисту культурного амаранту, оскільки може ускладнити селективність препаратів. Подальші дослідження повинні зосередитися на вивченні сортової специфіки реакції амаранту на гербіциди, розробці ефективних бакових сумішей та оптимізації строків і способів застосування засобів захисту рослин.

Успішний захист амаранту від шкідників вимагає комплексного підходу, який враховує біологічні особливості як культури, так і шкідників, а також специфіку регіональних умов вирощування. Розвиток сталих систем захисту рослин є критично важливим для забезпечення продовольчої безпеки та збереження навколишнього середовища.

Таким чином, питання підбору фунгіцидів та розробки ефективних заходів захисту рослин амаранту від хвороб на сьогодні є актуальними і такими, що потребують детального вивчення.

1.5. Вплив елементів технології вирощування на якісні показники зерна амаранту

Амарант — це маловикористовувана псевдозернова культура з нутрицевтичним потенціалом. Нутрицевтики — це неспецифічні біологічні агенти, які покращують і сприяють самопочуттю [500]. П'ять зернових видів амаранту показали вищу антиоксидантну активність і фітохімічний вміст у порівнянні зі злаками, такими як овес, ячмінь, пшениця, кукурудза, просо та рис. Таким чином, амарант є доброю заміною традиційним злакам і має потенціал як джерело корисних для здоров'я біологічно активних сполук. Антиоксидантна активність забезпечує важливі лікувальні властивості [238]. Амарант має різноманітні лікувальні властивості. Це джерело антиоксидантів [238, 251]. Має потенціал як джерело біологічно активних сполук, що зміцнюють здоров'я [251].

Потенціал видів амаранту здається величезним і багатообіцяючим, що робить його дослідження в оздоровчих цілях і використання для виробництва харчових продуктів вкрай необхідним [97]. Регулярне вживання амаранту може знизити рівень холестерину, принести користь людям, які страждають на гіпертонію та серцево-судинні захворювання [240]. Амарант вважається «золотою культурою майбутнього», але наявна література з досліджень амаранту показує, що цій культурі не приділяли достатньої уваги [29, 324].

Найбільш відомими із амарантових рослин, які культивуються в світі, є *Amaranthus cruentus* (амарант багрянний) та *Amaranthus hypochondriacus*. Найбільший відсоток олії (вище 5,7 %) має вид *Amaranthus hypochondriacus*. Виявлено високу кількість лінолевої, олеїнової та пальмітинової кислот, а також цікаве співвідношення насичених/ненасичених кислот у діапазоні від 0,26 (*A. hybridus*) до 0,32 (*A. hypochondriacus*) [365].

Амарант - це безглютеновий псевдозлак з унікальними біохімічними властивостями. Протеїни амаранту мають добре збалансований амінокислотний склад, високу біодоступність і хороші функціональні властивості. Харчові волокна, вітаміни (аскорбінова кислота, рибофлавін, токоли, каротиноїди), а також мінерали (Ca, Fe, Mg, K, Cu, Zn і Mn) є важливими поживними речовинами. Встановлено цінність фенольних сполук у насінні амаранта та їх функціональні та біоактивні властивості. Фенольні сполуки добре відомі як антиоксиданти. Іншими фітохімічними речовинами з антиоксидантною активністю, які утворюються в амаранті, є беталаїни, особливо бетаціані. Вміст цих пігментів варіюється у залежності від виду та генотипу амаранту [288, 412]. Biel W. і Jaskowska I. вивчили поживну цінність амаранту (*Amaranthus cruentus* L.) сорту Ацтек. Насіння містило близько 17 % білка, 8 % жиру, 3,5 % золи і 6,5 % сирової клітковини. Концентрація незамінних амінокислот у сирому білку була високою, особливо, лізину. Усі оцінені параметри на основі амінокислотного складу показали, що білок амаранта має хорошу харчову якість. Корисний також склад сирого жиру, переважну частину якого становили ненасичені жирні кислоти (олеїнова – 25 % та лінолева – 49 %) [288].

Зерно амаранту має більший вміст білка в порівнянні зі злаками. Білки та ліпіди є двома важливими складовими зерна амаранту. За даними Nasirpour-Tabrizi P та ін., зерно амаранту складається з 61,3-76,5 % вуглеводів (переважно крохмалю), 13,1-21,5 % сирого протеїну, 5,6-10,9 % сирого жиру, 2,7-5 % сирової клітковини та 2,5-4,4 % золи. [42; 152; 165; 170; 441].

Лізин, який є лімітуючою амінокислотою в злаках, міститься в значних кількостях у зерні амаранту. Олія амаранту, в основному, складається з триацилгліцеринів (78-82 %), що утворюють жирні кислоти, які мають важливий вплив на стабільність олії та поживні властивості. Лінолева кислота (C18:2), олеїнова кислота (C18:1) і пальмітинова кислота (C16:0) є переважаючими жирними кислотами. Компонентами цієї олії є сквален (до 10 %), фітостероли (2-3 %), токофероли, каротиноїди та фосфоліпіди (до 10 %). Унікальний склад олії

амаранту робить його корисним продуктом у харчовій, фармацевтичній та косметичній промисловості.

Дослідники Andini R., Yoshida S., Ohsawa R., Pastor K., Acanski M. у своїх роботах вказують, що вміст ліпідів у зерні амаранту вище, ніж у звичайних злаків, на 6-9 %. Ліпіди амаранту складаються з жирних кислот, тригліцеридів, стеролів, фосфоліпідів, гліколіпідів, токоферолів і вуглеводнів. Також, ліпіди амаранту характеризуються високим вмістом ненасичених жирних кислот, з особливо високим вмістом лінолевої кислоти. Лінолева кислота становить понад 50 % від загальної кількості жирних кислот і тому є найбільш розширеною жирною кислотою. Далі йдуть олеїнова (більше 25 %), пальмітинова (близько 20 %) і ліноленова (близько 1 %). Амарантова олія загалом стійка до окислення за рахунок захисних дій наявних токоферолів [266, 364; 469].

У дослідженнях [42] вміст білку в зерні амаранту становив 13,6 %, жиру 7,0 %, вуглеводів 58,6 %, калорійність 351 ккал. В інших дослідженнях виділено ширший діапазон цих показників: вміст сирого білку становив 15,2-18,6 %, сирого жиру – 5,4-8,6 % [251].

Зазвичай, амарант не є важливим джерелом вітамінів, однак, він містить більше рибофлавіну (вітамін B₂), фолієвої кислоти (вітамін B₉) і аскорбінової кислоти (вітамін C) порівняно з традиційними злаковими культурами. Вміст загальних токоферолів (токоферолів і токотрієнолів) у зернах амаранту може істотно відрізнятись [469].

У зерні амаранту містяться фенольні сполуки, зокрема фенолкарбонові кислоти: протокатехінова, гідроксибензойна, кавова, ферулова. Також були виявлені поліфенольні речовини, такі як рутин, нікотифлорин та ізокверцетин. Відомо, що рутин впливає на попередження процесів старіння, кверцетин гальмує процеси окислення, а ніктофлорин бере участь у збереженні функцій пам'яті [469; 480].

Середній вміст жиру в зерні амаранту — 4-5 %. Зерно з 6 % жиру вважається вже більш якісним, а сорти, в насінні яких зафіксовано понад 7 % жиру, відносяться до високоолійних, 9-10 % жиру - рідкісний показник, і

найчастіше такий амарант використовується виключно для виробництва олії і отримання сквалену [175].

За іншими даними вміст сирової олії коливався від 7,5 % до 9,0 %, причому лінолева, пальмітинова та олеїнова кислоти були основними жирними кислотами олії в усіх генотипах. Це дослідження показало унікальні харчові властивості вмісту двох генотипів: *A. hypochondriacus* і *A. cruentus*, вирощених в умовах Центральної Італії, як джерело поліненасичених жирних кислот і сквалену. Тому амарант є цінною альтернативною культурою для виробництва спеціальної олії в Середземноморському регіоні [345, 360, 460].

Gresta F. і ін. вважають, що *Amaranthus cruentus* (червоний, багрянний, пурпуровий) можна вважати дуже важливою культурою за високу поживну та функціональну цінність. Дані показали вищий урожай насіння (0,27 кг/м²) порівняно з основними злаками, вищий вміст олії порівняно з звичайними злаками (кукурудза, пшениця) з цінним жирнокислотним складом і високим антиоксидантним потенціалом. У олії виявлено високий вміст незамінних жирних кислот омега-6 (лінолева кислота) та омега-9 (олеїнова кислота). Лінолева кислота коливалася від 19 до 34 %, олеїнова кислота від 29 до 36 % і альфа-ліноленова жирна кислота від 0,3 до 0,5 %. Тому *A. cruentus* може мати потенційну цінність як олійна культура для районів Середземномор'я, і як високоякісний альтернативний кормовий інгредієнт традиційним зерновим злакам [360].

Анатомічна будова зернівки амаранту своєрідна: зародок кільцеподібно охоплює ендосперм. Із зародкової крупки за допомогою екстракції CO₂ витягують олію. Після екстракції шрот зародкової крупки розмелюють та отримують амарантове борошно білкове напівобезжирене (АБ) [208].

В обох видах амаранту *Amaranthus viridis*, *Amaranthus tricolor* вміст олії однаковий і становить 6,3-6,7 %. В олії утворюються насичені жирні кислоти (SFA = 24,84-24,58), а саме: миристинова (0,26-0,25 %), пальмітинова (20,68-20,34 %), стеаринова (3,27-3,28 %), арахідонова (0,63-0,71 %). Більше є ненасичених жирних кислот (USFA=66,85-66,75), зокрема: лінолева (43,01-

43,21 %), олеїнова (22,57-22,39 %), елаїдинова (1,07-1,15 %). [419]. Домінуючими жирними кислотами були ліолева, пальмітинова та олеїнова [42, 364]. Вміст ліолевої у *A. cruentus* становив 33,3 – 39,9 %, а в *A. hypochondriacus* 31,7 – 47,5 %. Менший вміст був стеаринової, ліолевої, арахідної та найменшої ейкозенової та бегенової [365].

Інша робота присвячена вивченню складу олії сортів амаранту: Харківський 1, Лера, Андижанський та Геліос, акліматизованих в Узбекистані. Встановлена олійність зерна коливалася від 6,39 до 7,81 % від вихідної маси. Зразки амарантової олії містили досить велику кількість ненасичених жирних кислот 72,72–73,28 %. Вміст сквалену в насінні коливався від 0,35 % до 0,55 %. Встановлено, що вміст сквалену в оліях, отриманих шляхом екстрагування, більший, ніж отриманий шляхом холодного віджиму [299].

У світлому насінні міститься в середньому 7,5-9,7 % олії, в темному менше – 5,8-6,8 % [153]. Кращий метод екстракції олії з амаранту з допомогою CO₂. Він забезпечує високий вихід олії з високим вмістом сквалену [391].

Зернові амаранти є багатим джерелом сквалену, токотрієнолу (як відомо, що знижує рівень холестерину), антипоживних компонентів, таких як сапоніни, танін та інгібітор трипсину [29, 324].

Важливо, що при виготовлених продуктах харчування із зерна виду *Amaranthus cruentus* вміст білку, жиру та крохмалю не змінювався [480]. Вони мають добру якість [504].

Олія амаранту відрізняється від інших олій високим вмістом фізіологічно активних речовин, зокрема сквалену і фітостеролів. Фітостероли знижують вміст холестерину в крові. Важливим компонентом амарантової олії є токоферол (вітамін E) [455].

До складу амарантової олії входить понад 70 % моно- і поліненасичених жирних кислот (ліолева (Омега-6), олеїнова (Омега-9), ліолева (Омега-3), арахідонова, пальметолеїнова кислоти та ін.), понад 9 % фосфоліпідів (у складі яких домінує фосфатидилхолін), сквален (понад 8 %), близько 2 % вітаміну E, фітостероли (понад 2 %), каротиноїди (попередники вітаміну A), вітамін D,

жовчні кислоти, різні макро- і мікроелементи (калій, залізо, фосфор, кальцій, магній, мідь та ін.) [29; 441].

Зазначається, що найважливішим компонентом амарантової олії є сквален, який має антиоксидантну активність [387; 596; 170]. Повідомляється, що рослина амарант є найбагатшим джерелом сквалену в рослинному світі [240]. Вміст сквалену в амарантовій олії досягає 8 %, тоді як в оливковій його міститься лише 0,7 %, а в олії з кукурудзи – 0,1 %. Сквален ($C_{30}H_{50}$) – природний ациклічний тритерпен, у чистому вигляді його зберігають від хвороби глибоководних акул [455]. Сквален стимулює роботу імунної системи, яка захищає організм від інфекцій та вірусів [42], покращує пам'ять і сповільнює старіння організму [4].

Більше норм добрих NRK підвищували вміст жиру в насінні. У зерні сорту Ацтек середній вміст жиру становив 7,7 %. Альфа токоферолу було більше у сорту Ацтек, а бета токоферолу у сорту Rawa [284]. Вивчення антиоксидантних властивостей рослин є дуже активною сферою досліджень. [527].

Досліджено антиоксидантну активність та фенольний склад надземної частини *Amaranthus caudatus* на семи стадіях розвитку [384]. Фенольні сполуки в рослинах мають антиоксидантну дію, яка захищає клітини від окислювального пошкодження, викликаного вільними радикалами [251].

Найбільший вміст в олії лінолової, олеїнової та пальмітинової жирних кислот [31, 441]. Вміст лінолевої кислоти -1,6 %, ліноленової -49,2 %, олеїнової -14,6 %, пальмітинової – 6,2 %, стеаринової – 2,0 % [17].

За іншими даними найбільше міститься в олії амаранту ліноленової кислоти (до 50 %), пальмітинової – 20,0-27,0 %, олеїнової – 2,1-3,9 %, лінолевої – 21,8-23,3 % [455]. Основними жирними кислотами в усіх досліджених оліях амаранта були пальмітинова, олеїнова та ліолева: пальмітинова (19,1 %-23,4 %), олеїнова (18,7-38,9 %) і ліолева (36,7-55,9) [596].

Актуальним є застосування поліненасичених жирних кислот амаранту як функціонального компонента при виробництві продуктів харчування [83]. Склад жирних кислот у рослинних оліях є ключовим фактором, що визначає їх застосування в різних сферах. У харчуванні олії з високим вмістом ненасичених

жирних кислот вважаються більш корисними для здоров'я людини, оскільки можуть сприяти зниженню рівня холестерину та ризику серцево-судинних захворювань. У фармакології певні жирні кислоти мають терапевтичні властивості, що робить їх цінними для виробництва ліків та харчових добавок. У промисловості різні типи жирних кислот надають оліям специфічні властивості, важливі для виробництва косметики, мастильних матеріалів, фарб тощо.

Головна перевага рослинних олій виявилася в наявності ненасичених жирних кислот, особливо поліненасичених, таких як омега-3 та омега-6. Ці кислоти є незамінними, тобто не синтезуються організмом і повинні надходити з їжею. Вони беруть участь у важливих метаболічних процесах, мають протизапальні властивості та сприяють здоров'ю серця, мозку та інших органів. Таким чином, склад жирних кислот не лише означає сферу застосування олії, але й їх цінність для здоров'я людини [265]. В сучасному раціоні спостерігається дисбаланс між цими двома важливими кислотами. Омега-6 зазвичай присутня в надлишку в багатьох продуктах, які ми споживаємо. Натомість Омега-3 часто бракує в раціоні більшості людей, що створює значний дефіцит цієї важливої кислоти. Це свідчить про необхідність приділяти особливу увагу включенню джерел Омега-3 у щоденне харчування для підтримки оптимального балансу жирних кислот в організмі [299]. Омега-3 включає три основні кислоти: альфа-ліноленову, докозагексаєнову та ейкозапентаєнову [365]. Олеїнова кислота належить до групи Омега-9 і має широкий спектр корисних властивостей для організму [365, 596; 600].

Є різні експериментальні дані щодо вмісту олії в амаранті. Вміст олії в сортах амаранта коливався від 4,57 % до 5,55 % [547]. Вміст жиру становив 7,2 % [364]. За іншими даними він залежав від виду амаранта і становив: *A. cruentus* - 5,6-8,1 %, *A. hypochondriacus* - 6,1-7,3 %, *A. caudatus* - 5,8-10,9 % [381]. У деяких дослідженнях виявлено більш конкретні параметри, вміст олії був на рівні 8 % [572].

Завдяки наявності сквалену та токоферолів, які діють як антиоксиданти, амарантова олія має стійкість до окислення. У середньому в олії міститься 21,3 % пальмітинової кислоти, 28,2 % олеїнової та 46,5 % лінолевої [441].

Сорт у значній мірі впливає також на якість зерна. У результаті досліджень рекомендують сорти Plenitude і Nori Red Dye, як цінний вибір зерна амаранту з точки зору поліфенолів, протеїну та властивостей антиоксидантної активності. Вміст білку коливався в широкій діапазоні (12,34–37,25 %), найбільшим він був у сорту Nori Red Dye [540]. Маса 1000 насінин має прямі кореляційні зв'язки з якістю зерна, а саме з вмістом білку [547].

Дослідження, проведені в Польщі, показали, що вміст жиру і токоферолів був вищим у сорту Ацтек [527] і його кількість зростає з підвищенням норми добрив до $N_{130}P_{70}K_{70}$ [390; 529].

Деякі вчені визначають розбіжність у хімічному складі рослин, які ростуть у різних кліматичних зонах. Насичені жирні кислоти переважають у зерні вирощеному в південних широтах, і навпаки, в північних регіонах серед жирних кислот переважають моно- та поліненасичені кислоти. Дослідження показали, що амарант, вирощений в Лівобережному Лісостепу України, накопичує більше ненасичених жирних кислот, ніж насичених, чим робить цю сировину ціннішим джерелом біологічно активних речовин [42].

За іншими даними, склад жирних кислот в олії, отриманій з насіння амаранту, найбільшою мірою залежав від сортових ознак, а потім визначався погодними умовами в роки досліджень та рівнем внесення азотних добрив. В олії було найбільше ненасичених жирних кислот, серед яких домінували ліноленова та олеїнова кислоти [30; 34; 390]. Основними жирними кислотами в усіх досліджених оліях амаранта були лінолева (36,7-55,9 %), олеїнова (18,7-38,9 %) та пальмітинова (19,1 %-23,4 %) [596]. Подібні дані, наведені в інших джерелах: лінолева кислота - 51,5-53,5 %; олеїнова - 14,8-18,4 %; пальмітинова - 15,7-17,1 %; стеаринова 3,6-4,1 % [572]. У дослідженнях [442] вміст лінолевої кислоти становив – 39,7 %, олеїнової – 30,65 %, пальмітинової – 12,03 %. Про переважання в олії амаранту лінолевої та олеїнової кислот стверджується також

в інших дослідженнях. За даними Szabóová M, вміст жирних кислот був таким: лінолева (C18 :2) - 39,7-46,0 %, олеїнова (C18 :1) - 26,3-33,1 %, пальмітинова (C16 :0) - 19,7-20,1 %, стеаринова (C18 :0) - 3,4-3,7 %, альфа-ліноленова (C18 :3) - 0,7-0,8 %, арахідова -0,5 %, ейкозенова - 0,3 % [547; 469].

Більше у всіх дослідженнях вказується, що найбільшим є вміст лінолевої жирної кислоти (43,2-55,5 %). Олеїнова була на рівні 23,5-34,0 %, пальмітинова – в межах 20 %, стеаринова (2,1-2,3 %), ліноленова (0,2-0,6) [120]. Подібні дані наведені в іншому джерелі: лінолева кислота - 51,5-53,5%; олеїнова - 14,8-18,4%; пальмітинова - 15,7-17,1%; стеаринова 3,6-4,1% [556]. Вміст лінолевої кислоти становив 38-62 %, олеїнової кислоти – 20-33 %, ліноленової – 1,1 % [600; 596; 298].

В умовах Узбекистану у сортів Харківський 1, Лера і Геліос вміст пальмітинової кислоти теж мало залежав від сорту і був майже однаковим, відповідно 23,19; 22,60 та 22,80 %. За вмістом олеїнової кислоти переважав сорт Харківський 1 - 31,31 %, тоді як у сорту Лера цей показник становив 24,67 %, а у сорту Геліос - 28,80 %. Найвищий вміст лінолевої кислоти (47,01 %) виявили у сорту Лера, у сорту Геліос він становив 42,83 % і у сорту Харківський 1 – 40,16 %. Вміст ліноленової кислоти коливався залежно від сорту в межах 1,17-1,65 % [299].

Вміст жирних кислот залежав також від виду амаранта. В олії *A. cruentus* містилося 16-27 % пальмітинової олії, 20-39 % олеїнової та 34-47 % лінолевої. У *A. caudatus* міститься пальмітинової олії становив 12-20 %, олеїнової – 24-33 %, лінолевої – 36-50 %. У виду *A. hypochondriacus* вміст жирних кислот був таким: пальмітинова – 18-24 %, олеїнова – 16-34 %, лінолева – 39-52 %. У *A. hybridus* пальмітинова кислота коливалася в межах 19-22 %, олеїнова -19-26 % і лінолева - 47-56 % [441].

За даними Гудковської Н.Б., таким був жирнокислотний склад зерна амаранту: насичені жирні кислоти представлені пальмітиною (C16:0) - до 21 %, стеариною (C18:0) - 3,33-3,90 %, арахідоною (C20:0) - до 0,82 %, бегеновою (C22:0) - до 0,30 % та лауриною (C14:0) - 0,10-0,18 % кислотами.

Мононенасичені жирні кислоти представлені в основному олеїноюю кислотою (C18:1) – до 40 %, пальметолеїноюю (C16:1) – 0,47–0,69 %, ейкозеновою (C20:1) – до 0,35 %. Більшість поліненасичених жирних кислот становить лінолева кислота (C18:2) – до 50 %, також входить ліноленова кислота (C18:3) – до 1,26 % [42].

У дослідженні в різних агрокліматичних умовах Франції визначали, як регіональні кліматичні відмінності впливають на якісні та кількісні показники ліпідного профілю *Amaranthus*. Було встановлено, що у зразках із тепліших регіонів спостерігався вищий вміст ненасичених жирних кислот, зокрема лінолевої (C18:2) та олеїнової (C18:1), що свідчить про сприятливий вплив підвищених температур на біосинтез цих сполук. Водночас, холодніші умови сприяли дещо вищому накопиченню насичених жирних кислот. Крім того, дослідники зафіксували варіації у вмісті токоферолів і фітостеролів, що також були чутливими до умов вирощування. Ці біоактивні сполуки мають антиоксидантні та кардіопротекторні властивості, тому їх наявність підвищує цінність амарантового насіння як функціонального харчового продукту [280].

Отримані результати підкреслюють значний потенціал *Amaranthus* як культури, адаптованої до змін клімату, з високим рівнем харчової та біологічної цінності [312].

Отже, амарант представляє собою унікальну псевдозлакову культуру з винятковими поживними та функціональними властивостями. Високий вміст повноцінного білку, збалансованого за амінокислотним складом, особливо по лізину, робить його цінною альтернативою традиційним зерновим культурам.

Ліпідний склад амаранту характеризується високим вмістом ненасичених жирних кислот, серед яких домінують лінолева, олеїнова та пальмітинова кислоти. Особливої уваги заслуговує унікально високий вміст сквалену, токоферолів і фітостеролів, що надає амарантовій олії виражені антиоксидантні та функціональні властивості.

Багатий склад фенольних сполук забезпечує амаранту високу антиоксидантну активність, що перевищує показники традиційних злаків.

Біологічна активність амаранту включає протизапальні, кардіопротекторні та імуномодулюючі властивості.

Якість амаранту істотно залежить від сортових особливостей, кліматичних умов вирощування та агротехнічних заходів. Культура демонструє високу адаптивність до різних умов, що робить її перспективною для сталого сільського господарства в умовах зміни клімату.

Перспективи використання амаранту охоплюють харчову, фармацевтичну та косметичну промисловості. Як джерело функціональних інгредієнтів, амарант має значний потенціал для створення продуктів здорового харчування та лікувально-профілактичних засобів. Подальші дослідження повинні бути спрямовані на оптимізацію технологій вирощування, селекцію високоолійних сортів та розробку інноваційних методів переробки для максимального використання біологічного потенціалу цієї унікальної культури.

1.6. Використання фітомаси амаранту на зелене добриво.

Найбільш дешевим замінником мінеральних добрив є зелені добрива. Їх цінність залежить від виду культури і кількості приораної зеленої маси. Вирощування пожнивних покривних культур на зелене добриво особливо перспективне у зоні достатнього зволоження. Зелена маса приорується соковитою, з високим вмістом води, тому вона розкладається і вивільняє елементи живлення швидше, ніж навіть підстилковий гній. Крім того, покривні культури поліпшують водний, повітряний та тепловий режими [249].

Сучасні дослідження підтверджують, що зелені добрива представляють цінну стратегію для підвищення родючості ґрунту та сприяння екологічній стійкості. Використання зелених добрив для ефективного управління азотом в сільськогосподарських полях може значно зменшити залежність основних культур від хімічних азотних добрив, сприяючи ефективному використанню ресурсів [405].

Азот існує в різних формах у ґрунті, класифікованих як органічний та неорганічний азот, при цьому вміст органічного значно перевищує неорганічний.

Неорганічний азот далі поділяється на нітратний азот та амонійний азот залежно від його стану [405].

Аналіз даних табл. 1.2 свідчить про значну перевагу амаранту щодо надходження елементів живлення, порівняно з іншими культурами на зелене добриво.

Таблиця 1.2

Орієнтовна кількість поживних речовин у зеленій масі різних культур за весняної сівби і приорювання за укісної стиглості (за розрахунками М. Тирусь).

Культура	Урожайність зеленої маси, ц/га	Накопичено в загальній біомасі поживних речовин, кг/га			Разом поживних речовин, кг/га
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Горох кормовий	350	150	100	150	400
Вика яра	300	120	60	180	360
Кормові боби	350	130	70	140	340
Люпин однорічний	260	140	60	140	340
Гірчиця біла	250	80	40	90	210
Суріпиця	250	100	40	90	230
Редька олійна	400	140	70	200	410
Фацелія	300	80	50	200	330
Гречка	300	100	65	150	315
Амарант	500	220	40	400	660

Як видно, із зеленою масою рослин у ґрунт повертається значна частина поживних речовин. Розрахунки є орієнтовні і узагальнені, тому що урожайність та вміст елементів живлення у зеленій масі можуть сильно коливатись залежно від технології вирощування, метеорологічних умов та строків сівби.

Біомаса амаранту збільшувалася зі збільшенням внесення добрив до рівня 100 % азоту, фосфору та калію (NPK). Застосування NPK добрив на рівнях до 100 %, згідно з результатами цього дослідження, призвело до більшого накопичення біомаси та покращення індексів міжрядного вирощування [430].

Для використання зеленої маси на добрива найбільше підходять дві групи культур: бобові, які дають зелену масу багату поживними речовинами, особливо азотом; капустяні, що характеризуються швидким ростом і високою урожайністю зеленої маси.

На наш погляд амарант є недооціненою культурою не лише при вирощуванні на зерно, але й може бути дуже цінним для вирощування на зелені добрива. Він займає невеликі посівні площі для використання на зерно, і майже не вирощується на зелену масу. Цінність цієї важливої культури полягає в тому, що амарант не вимагає великої кількості вологи для проростання та має низький коефіцієнт її використання під час вегетації.

Він має швидкі темпи розвитку, через півтора місяця зацвітає, формує орієнтовно 40 т/га вегетативної маси, багатої на азот. Завдяки змішаному типу кореневої системи стрижневому та мичкуватому (поверхневому) є чудовим розпушувачем переущільнених ґрунтів. Має найменшу норму висіву серед сидеральних культур.

Глобально використання хімічних добрив зростає день у день для отримання вищого врожаю сільськогосподарських культур, що негативно впливає на екосистему ґрунту [336]. У цьому контексті амарант може слугувати альтернативою, оскільки має здатність до співіснування з азотфіксуючими бактеріями та збагачення ґрунту азотом [73].

Уміст елементів живлення у зеленій масі амаранту виду *A. hypochondriacus* у перерахунку на абсолютно суху речовину становить: азоту 2,20-2,55 %, фосфору 0,40-0,51 %, калію 3,86 – 4,80 % (табл. 1.3).

Вміст елементів живлення у зеленій масі амаранту, % на абсолютно суху речовину

Вид, сорт	Урожайність зеленої маси, т/га	Вміст елементів живлення			За даними:
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
<i>A. hypochondriacus</i>	55-60	2,20- 2,55	0,40- 0,51	3,9-4,8	[Амарант... Монографія. Гопцій Т.І.]
<i>A. paniculatus</i> Сорт Дніпровський 1	25	1,22- 1,48	0,50- 0,54	2,98- 3,12	Дисертація Дудка М.І., 2020. С.199
<i>A. hybridus</i> Сорт Ультра	вирощування на зерно 28 ц/га	1,6-3,2	0,8-1,6	4,8-9,2	Войташенко Д.П. 2011
Амарант	Немає даних	1,70- 1,72	0,50- 0,52	2,35- 2,36	Shoniyozov B., Ortikov T., 2023
Амарант	26,9	2,47- 2,50	0,21	3,17- 3,36	Andrusenko V.A., Kuznetsov I.Y. 2015
<i>A. cruentus</i> *	Немає даних	5,2	0,82	4,0	Managa G.M. et al.,2023
<i>A. tricolor L.</i> **	Немає даних	12,5- 31,9	0,6-1,7	5,9- 14,0	Zaman H., 2022
<i>A. caudatus</i>	Немає даних		0,48	8,5	Jimoh M. O., 2020

*вміст у листі; **мг на 1 рослину

Тобто навіть за відносно невисокої, як для амаранту, врожайності зеленої маси на рівні 50 т/га (10 т/га сухої маси), в ґрунт за її приорювання повертається орієнтовно $N_{220-255}P_{40-50}K_{390-480}$. Ніяка інша покривна культура, навіть бобові, не забезпечують надходження в ґрунт в процесі мінералізації такої кількості елементів живлення [34].

Амарант на родючих ґрунтах можна вирощувати без добрив. Завдяки розгалуженій та глибокій кореневій системі він у достатній кількості забезпечує себе макро- та мікроелементами. Його можна використовувати в суміші покривних культур, оскільки збагачує ґрунт азотом, зменшує вміст солей у ґрунті [147].

Ця рослина толерує кислотність ґрунту між рН 4,3 до 8,0 і росте оптимально між рН 5,5 до 7,0. Надлишкове внесення неорганічних азотних добрив може призвести до блілого листя та токсичного накопичення нітратів у рослинах [406].

За даними Гопцій Т.І. та ін., амарант, за рахунок сильно розвинутої кореневої системи, засвоює елементи живлення з глибших горизонтів ґрунту, які недоступні для більшості зернових культур. Тому велику перспективу має як культура на зелене добриво, особливо враховуючи низьку норму висіву (1,0-1,5 кг/га) [34].

Зелений корм амаранту містить багато вуглеводів, харчових волокон та білку. Виявлено значні рівні неорганічних мінералів, включаючи калій, кальцій, магній, залізо, марганець, мідь та цинк. Аналіз поживного складу цілої частини червоного амаранту показує, що була значна кількість білку ($26,60 \pm 0,42$ %), жиру ($4,49 \pm 0,30$ %), волокон ($6,67 \pm 0,33$ %) та вуглеводів ($39,80 \pm 0,15$ %). Калій ($1080,02 \pm 32,51$ мг/100г сухої ваги) виявився основним мікроелементом серед інших (Na, Ca та залізо) [485, 395].

За іншими даними, вміст елементів живлення в 1 т абсолютно сухої речовини вегетативної маси і насіння амаранту становить: азоту 30,4-35,4 кг, фосфору – 16,7-18,6 кг, калію 34,8-36,8 к [72]. Як стверджують Рахметов Д. і

Рибалко Я., за формування урожаю на рівні 10 т/га сухої речовини він виносить $N_{150-175}$ P_{90-100} $K_{450-550}$ $Ca_{210-250}$ Mg_{80-100} , переважна частина яких пізніше повертається в ґрунт [146].

Генотипи амаранту виробляли 720–1320 г м⁻² загальної біомаси та 140–300 г м⁻² зерна. Поглинання азоту становило 13–21 г N м⁻². Через низький індекс збирання (≤ 30 відсотків), до 14 г N м⁻² залишалося в залишках (солома+коріння) після збирання врожаю [276].

Вміст мінералів у листі амаранту виду *A. cruentus* у перерахунку на суху масу наступний: азоту 5,2 %; фосфору 0,82 %; калію 4,0 %; магнію 1,7 %; сірки 0,56 %; кальцію 2,4 % [413].

Вміст калію у сухій масі зерна становив 267,8 – 473,6 мг/100грам, у вегетативній масі калію 1320-1677 мг/100грам. У зеленій масі вміст білку 13,4-23,3 % [384].

У виду *Amaranthus caudatus* найвищий вміст фосфору (0,60 %) був перед цвітінням і знизився у фазі цвітіння до 0,48 %. Вміст калію був нижчим перед цвітінням (7,9 %) і підвищився у фазі цвітіння до 8,5 % [376]. Подібні результати отримали також інші дослідники. Так, найбільший вміст білку у біомасі амаранту був у період з 80-го по 90-й день вирощування, тобто у фазах появи суцвіть і початку цвітіння [472].

Найбільше поживних елементів в абсолютно сухій масі амаранту містилося у фазі бутонізації, а саме: загальних форм азоту 2,3-3,2 %, фосфору 1,3-1,6 %, калію 7,1-9,2 %. У подальшому розвитку рослин вміст азоту зменшувався до 1,9-2,5 % у фазу цвітіння та 1,6-2,3 % в період молочно-воскової стиглості амаранту. Найбільшим вмістом загального калію абсолютно суха маса амаранту характеризувалась у фазі бутонізації з поступовим його зниженням у наступних фазах [20].

Вміст азоту, фосфору та калію у різних частинах рослин амаранту відрізнявся і був таким: у зерні було більше азоту N - 2,55-2,58 %, P - 0,44-0,50 %, K - 1,12-1,15 %. У надземній масі було значно менше азоту, але в два рази більше калію N - 1,70-1,72 %, P - 0,50-0,52 %, K - 2,35-2,36 %. Поживні рештки

амаранту містили N - 1,54-1,59 %, P – 0,53-0,56 %, K - 2,33-2,36 %. У кореневій системі виявили найменше азоту: N - 1,17-1,21 %, P - 0,60-0,62 %, K - 1,85-1,87 % [520].

У виду *A. cruentus* сорту Giganteus вміст азоту в фітомасі (стебла, листя, суцвіття) становить 1,65 % [597].

Особливо необхідно враховувати високу врожайність амаранту. Так, навіть у посушливих умовах Дніпропетровської обл. урожайність зеленої маси амаранту становила 31,8 т/га, а в перерахунку на суху речовину 6,11 т/га [71]. Амарант дуже привабливе джерело біомаси-фітомаси через високу врожайність, навіть за несприятливих умов [356, 597].

На осушених торфових ґрунтах Сарненської дослідної станції Рівненської обл. урожайність зеленої маси становила 40-50 т/га [29]. Потенціал урожайності зеленої маси може досягати навіть до 250 т/га [236, 460, 526].

Найвища врожайність зеленої маси амаранту була за сівби 15 червня, залежно від способу сівби - 91 та 95 т/га, що значно вище порівняно з строками сівби 25 травня та 5 червня. Це можна пояснити тим, що амарант відноситься до рослин короткого світлового дня і тому в наших умовах довгого світлового дня забезпечував інтенсивне наростання фітомаси [327].

Кількість елементів живлення що повертаються у ґрунт залежить від фази росту, рівня врожайності та вмісту елементів живлення у зеленій масі. Максимальне накопичення азоту – 215,9 кг/га, зафіксовано в період молочно-воскової стиглості, фосфору та калію – 117,1 і 677,4 кг/га, відповідно, у фазу цвітіння [20]. Підвищені норми мінеральних добрив забезпечують збільшення вмісту NPK у зеленій масі [268, 459]. Це підкреслює переваги амаранту, який забезпечує стабільне повернення поживних речовин без залежності від симбіотичних процесів.

Зустрічаються дані, що амарант – рослина нітрофіл, тобто може формувати велику біомасу в стресових для більшості рослин низьких дозах азоту в ґрунті [5].

Відзначається, що комплексна взаємодія зрошення та застосування розрахункової норми добрив сприяє подовженню продуктивного процесу та накопиченню в надземній масі 215,9 кг азоту, 107,9 кг фосфору та 566,7 кг/га калію (табл. 1.4) [25].

Таблиця 1.4.

**Кількість елементів живлення, що повертаються у ґрунт із
зеленою/сухою масою амаранту.**

Вид, Сорт	Урожайність зеленої/сухої маси т/га	Елементів живлення, кг д.р. на 1 га				За даними:
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Разом NPK	
Вид А. hypochondriacus	60/12	255	48	480	783	Амарант. Гопцій
А. paniculatus Сорт Дніпровський 1	25/5	74	25	150	249	Дудка М.І. С.199 2020 р
Сорт Ультра 2003-2005 рр.	-/7	216	108	567	891	Войташенко Д. П.2005.
Сорт Ультра 2006-2008 рр.	виращування на зерно 28 ц/га	216	117	677	1010	Войташенко Д. П.2011
Амарант	26,9	143	12	193	348	Andrusenko V.A., Kuznetsov I.Y. 2015

Виробництво біомаси сортів амаранту Hinn Choy та RRC 241 найбільш реагувало на підвищення рівнів додаткового фосфору (до 90 кг/га) та менше реагувало на підвищення рівнів додаткового калію (до 180 кг/га). Сорт Hinn Choy позитивно реагував на додатковий азот (до 270 кг/га). Середнє збільшення врожаю від N, K та P становило 1,15, 1,27 та 14,5 разів відповідно [464].

Також результати досліджень свідчать про те, що *Amaranthus hypochondriacus* менш вимогливий до умов вирощування, порівняно з іншими білковими культурами. Його можна вирощувати на засолених ґрунтах, там де традиційні культури не ростуть, зменшуючи споживання води та використовуючи для поливу солону воду [482].

В умовах України амарант на зелене добриво можна вирощувати також як післяжнивну культуру. Важлива цінність амаранту полягає у його здатності відновлення та збереження родючості ґрунтів. Має кореневу систему, що здатна заглиблюватися до 7 м і підтягувати елементи живлення в орний шар для використання наступними культурами сівозміни. Є добрим компонентом сумішей покривних культур у післяжнивних посівах, забезпечуючи живленням ґрунтову біоту аж до приморозків. Амарант добре росте на бідних ґрунтах (пісках Херсонської обл.), залишає після себе багато азоту (в листі може бути до 47 % білку). Він також здатний розсолювати слабозасолені ґрунти [120].

Зелений амарант призводить до збільшення популяції бактерій, пов'язаних з циклом вуглецю та азоту, які складаються з *Acidobacteria*, *Actinobacteria* та *Sphingomonas*, а також метаболітів ґрунту, пов'язаних з вуглецем або азотом, таких як бетаїн, стахіоза, рафіноза, мелібіоза, триметил селенотім та 3-дегідросфінганін. Це, в свою чергу, сприяло збільшенню доступного вуглецю та азоту в ґрунті для поглинання рослинами [597]. Має зв'язок з азотфіксуючими бактеріями, збагачує ґрунт азотом [73]. Під впливом вирощування амаранту зростає біологічна активність ґрунту [528].

Вирощування амаранту покращує родючість ґрунту. Його можна розглядати як цінне зелене добриво [459]. Залишки рослинної маси амаранту можуть підвищувати урожайність наступних культур [553].

Амарант є дуже добрим попередником для всіх сільськогосподарських культур. Він залишає після себе багато вегетативної маси, як надземної так і підземної, збагачує ґрунт органікою. Його рослинні рештки дуже багаті на азот, після амаранту залишається більше азоту, ніж після гороху, сої та інших бобових культур [73, 247].

За даними [494], використання зеленої маси амаранту, який висівали 21 липня як проміжну культуру, було рівноцінним внесенню гною у нормі 40 т/га.

Низка авторів зазначають, що амарант не тільки добрий попередник, фітомеліорант, підвищує родючість ґрунту, але він може бути дуже перспективною культурою для рекультивації низькородючих ґрунтів [170].

Накопичення важких металів у ґрунті швидко зросло через різні природні процеси та антропогенну (промислову) діяльність. Оскільки важкі метали не піддаються біодеградації, вони зберігаються в навколишньому середовищі, мають потенціал потрапляти в харчовий ланцюг через сільськогосподарські культури і зрештою можуть накопичуватися в організмі людини через біомагніфікацію. Фіторе mediaція є екологічно чистим підходом, який може бути успішним заходом пом'якшення для відновлення ґрунту, забрудненого важкими металами, економічно ефективним способом [599, 254].

Швидка індустріалізація, збільшення виробництва відходів та зростання сільськогосподарської діяльності, видобутку корисних копалин, забруднена зрошувальна вода та промислові стоки сприяють забрудненню водних ресурсів через накопичення важких металів. Фіторе mediaція є реалістичною та перспективною стратегією для видалення важких металів із забруднених районів, заснованою на використанні видів рослин-гіперакумуляторів, які надзвичайно толерантні до важких металів, присутніх у навколишньому середовищі/ґрунті [254].

Так, Xiaoying Cui і ін. стверджують, що амарант є цінною культурою для фіторе mediaції забруднених кадмієм ґрунтів. Є дані що амарант (*Amaranthus hypochondriacus* L.) є сильним акумулятор кадмію (Cd) завдяки таким перевагам, як швидкий ріст, висока біомаса, легкість культивування та висока адаптивність до навколишнього середовища [598]. Про придатність амаранту для фітоекстракції (фіторе mediaції) кадмію і свинцю зазначають також інші дослідники [321, 302].

Amaranthus hypochondriacus гіперакумуляував Cd при помірних концентраціях (2 мг кг⁻¹ сухої ваги), але рослини, вирощені при концентрації 20

мг Cd кг⁻¹ сухої ваги, не розвивалися відповідно до очікуваної висоти рослини, що вказує на те, що ріст був пригнічений поєднанням низьких поживних речовин, кислотності та токсичних ефектів Cd [363].

Концентрація важких металів (Cd, Pb, Zn, Cu) у фітомасі амаранту сортів Геліос, Кремовий ранній та Стерх зростає з підвищенням норми добрив до N₉₀P₉₀K₉₀ [19].

Рослини амаранту володіють складними механізмами толерантності до важких металів, які включають декілька рівнів захисту. Дослідження *Amaranthus retroflexus* показали, що рослина активує антиоксидантну систему захисту як основну стратегію протидії стресу від важких металів [254, 363]. Синтез поліамінів та амінокислот сприяє формуванню толерантності до металотоксичного стресу [397].

Кореляційний аналіз виявив, що деякі ключові мікроорганізми (наприклад, *Amycolatopsis*, *Bryobacterium*, *Sphingomonas*, *Flavobacterium*, *Agaricus*, *Nigrospora*, *Humicola*) можуть регулювати кілька факторів ґрунту, таких як рН ґрунту, органічна речовина (ОМ), доступний азот (AN) та доступний фосфор (AP), щоб впливати на здатність рослин до збагачення важкими металами. Зокрема, деякі ферменти (наприклад, P-type ATPases, Cysteine synthase, Catalase, Acid phosphatase) та гени (наприклад, ZIP gene family та ArsR, MerR, Fur, NikR транскрипційні регулятори) були знайдені задіяними у сприянні накопиченню Cd та Pb у видів *Amaranthus* [598].

На молекулярному рівні толерантність до важких металів забезпечується комплексом механізмів: сприйняттям зовнішніх стресових стимулів, передачею сигналу всередину клітини та активацією відповідних захисних заходів для нейтралізації негативних ефектів стресу шляхом модуляції фізіологічного, біохімічного та молекулярного стану клітини [525].

У гідропонних системах *Amaranthus hybridus* продемонстрував високу ефективність видалення важких металів: 99,86 %, 87,09 % та 70,25 % для Ni, Fe та Sr відповідно. Забруднюючі метали накопичувалися в коренях та транслюкувалися до пагонів і генеративних органів [377].

Дослідження *Amaranthus hypochondriacus* показали його здатність до гіперакумуляції кадмію навіть в неоптимальних умовах – на кислих, бідних поживними речовинами субстратах. Рослини, що росли на субстраті з додаванням 2 мг Cd кг^{-1} , вилучили значну кількість кадмію, акумулюючи його в надземній біомасі. Концентрації в рослинах збільшувалися з часом і досягли максимальної концентрації $176 \pm 45 \text{ мг кг}^{-1}$ сухої ваги для стебел та $94 \pm 41 \text{ мг кг}^{-1}$ сухої ваги для листя після 180 днів. Середній фактор біоаккумуляції в рослинах становив 86 ± 15 після 90 днів, 72 ± 12 після 120 днів, 105 ± 37 після 150 днів та 99 ± 31 після 180 днів [363].

Результати цього дослідження показали, що *A. spinosus* зі значеннями BCF більше 1 для Zn та Cu використовує гіперакумуляцію як механізм ремедіації цих металів. Відсоток втрати важких металів з ґрунтів мав негативну кореляцію з кількістю важких металів, накопичених у тканинах рослини [514].

Amaranthus viridis продемонстрував потенціал як фітоекстрактора Ni та Zn з більшістю значень коефіцієнта біоконцентрації (BCF) $> 1,0$ та коефіцієнта транслокації (TF) $> 1,0$. Для Cd та Fe рослина виявилася перспективним фітостабілізатором з BCF $> 1,0$ та TF $< 1,0$.

Комплексний аналіз накопичення важких металів (Cd, Cu, Fe, Ni, Pb та Zn) у різних частинах рослин *Amaranthus* показав значне накопичення кожного металу в рослинах, що росли на забруднених ґрунтах порівняно з рослинами з незабруднених територій. Розбіжності між частинами рослин були значними для Cu та Fe, незначними для Ni, Pb та Zn, і мінімальними для Cd [513, 559].

Дослідження застосування амаранту для фіторемедіації радіоактивного цезію показали, що концентрація радіоактивного Cs була вищою в амаранті порівняно з кенафом протягом трьох років досліджень. Концентрація радіоактивного цезію була найвищою в листках і найнижчою в насінні. Проте швидкість видалення Cs з ґрунту за одноразового вирощування амаранту була низькою – від 0,019 % до 0,283 % [363].

Додавання хімічних сполук, таких як EDTA, EGTA та SDS до ґрунту або води для стимулювання росту рослин та підвищення фітоекстракції показало

позитивні результати. Застосування флавоноїдів (рутину) до *Amaranthus hypochondriacus* за різних умов стресу від Cd зменшує пошкодження клітинної мембрани та забезпечує толерантність до токсичності Cd [514].

Дослідження в умовах теплиці показали, що додавання азотних добрив підкислило промисловий ґрунт і знизило рН з 6,9 до 5,5, що підвищило накопичення Pb та Cu амарантом. Промисловий ґрунт з додаванням азотних добрив забезпечив найвище накопичення Pb (10,1–15,5 мг кг⁻¹) та Cu.

Фіторемедіація має ряд переваг: економічна доцільність (автотрофна система, що живиться сонячною енергією), екологічність (зменшує вплив забруднювачів на довкілля), застосовність на великих площах, запобігання ерозії та вилуговуванню металів через стабілізацію важких металів, покращення родючості ґрунту через вивільнення органічних речовин [588; 570; 515].

Сучасні підходи до підвищення ефективності фіторемедіації включають застосування омїкс-технологій (геноміка, транскриптоміка, протеоміка, метаболоміка) для розуміння генетичних та молекулярних механізмів відповіді рослин на забруднювачі, а також технологію CRISPR/Cas9 для цілеспрямованого редагування генів, залучених у поглинання, толерантність та детоксикацію забруднювачів [513, 514, 559].

Амарант демонструє значний потенціал для фіторемедіації ґрунтів, забруднених важкими металами. Різні види роду *Amaranthus* мають специфічні особливості накопичення металів: деякі ефективні для фітоекстракції (*A. hybridus*, *A. hypochondriacus*), інші – для фітостабілізації (*A. viridis* для Cd та Fe) [592, 590].

Фіторемедіація нафтозабруднених земель здійснюється шляхом вирощування амаранту [287]. Горщикові дослідження показали, що амарант здатен ефективно вилучати Fe, Cd, Co, Pb, Cu та Cr з забруднених ґрунтів. Ефективність фіторемедіації амарантом у вилученні кадмію була вищою за соняшник. Виявлено, що вплив соняшника на фіторемедіацію відбувається переважно через фітостабілізацію, а амаранту – через фітоекстракцію [513, 559].

Зелене добриво є ефективною стратегією для подолання проблем безперервного вирощування в системах виробництва арахісу шляхом збільшення кругообігу поживних речовин, метаболітів ґрунту та популяції корисних мікробів у ризосферній зоні [515].

Амарант, завдяки своїм унікальним біологічним властивостям, високій продуктивності та здатності рости в несприятливих умовах, представляє значний потенціал як багатофункціональна культура для сталого розвитку сільського господарства та охорони навколишнього середовища.

Висновки до розділу 1

1. Амарант є перспективною багатофункціональною культурою, яка має значний потенціал для розвитку сучасного сільського господарства України. Унікальні біологічні властивості, високий вміст повноцінного білку, збалансованого за амінокислотним складом, особливо за вмістом лізину, а також винятковий ліпідний склад з високим вмістом сквалену, токоферолів і фітостеролів роблять амарант цінною альтернативою традиційним зерновим культурам. Культура демонструє високу адаптивність до різних умов вирощування, що особливо важливо в контексті сталого розвитку аграрного виробництва в умовах зміни клімату.

2. Незважаючи на очевидні переваги амаранту, майже всі елементи технології його вирощування потребують поглибленого вивчення та уточнення з урахуванням конкретних ґрунтово-кліматичних умов зони вирощування. Особливої уваги потребують питання оптимізації системи удобрення для формування максимальної продуктивності культури в умовах достатнього зволоження. Велика різноманітність даних щодо впливу елементів живлення на формування врожайності амаранту потребує встановлення науково обґрунтованих норм мінеральних добрив для конкретних ґрунтово-кліматичних зон.

3. Параметри сівби амаранту, зокрема строки, способи і глибина, залишаються недостатньо вивченими для умов Лісостепу західного України. Аналіз наукових джерел свідчить, що оптимальні строки сівби варіюють від третьої декади квітня до другої декади травня залежно від температурних умов та сортових особливостей. Невизначеність щодо оптимальних параметрів сівби вимагає поглибленого вивчення факторів, які впливають на реалізацію урожайного потенціалу рослин залежно від щільності їх розташування в агроценозах.

4. Система захисту амаранту від бур'янів, шкідників і хвороб є одним із найменш розроблених елементів технології. На невеликих площах та при органічному вирощуванні ефективними залишаються біологічні та механічні методи контролю бур'янів. Однак для промислового виробництва необхідне застосування інтегрованої системи захисту, що поєднує агротехнічні та хімічні методи. Особливої уваги потребує вивчення сортової специфіки реакції амаранту на гербіциди, оскільки проблема резистентності бур'янів роду *Amaranthus* може ускладнити селективність препаратів.

5. Питання підбору ефективних фунгіцидів та розробки комплексних заходів захисту амаранту від хвороб залишаються актуальними і потребують детального дослідження. Успішний захист культури від шкідників вимагає комплексного підходу, який враховує біологічні особливості як амаранту, так і шкідників, а також специфіку регіональних умов вирощування.

6. Якість зерна амаранту істотно залежить від сортових особливостей, кліматичних умов вирощування та застосованих агротехнічних заходів. Високий вміст ненасичених жирних кислот, серед яких домінують ліолева, олеїнова та пальмітинова, а також багатий склад фенольних сполук забезпечують амаранту високу антиоксидантну активність, що перевищує показники традиційних злаків. Біологічна активність амаранту включає протизапальні, кардіопротекторні та імуномодуючі властивості, що робить його перспективним для використання в харчовій, фармацевтичній та косметичній промисловостях.

7. Використання фітомаси амаранту як сидеральної культури відкриває додаткові можливості для застосування цієї культури в системах органічного землеробства та підвищення родючості ґрунту. Висока продуктивність зеленої маси та здатність рости в несприятливих умовах роблять амарант ефективним інструментом для сталого розвитку сільського господарства та охорони навколишнього середовища.

8. Для розширення посівних площ амаранту в Україні необхідно розробити інтенсивні технології вирощування, що орієнтовані на конкретні ґрунтово-кліматичні зони. Подальші наукові дослідження мають бути спрямовані на оптимізацію всіх елементів технології вирощування, підбір високопродуктивних сортів, адаптованих до конкретних ґрунтово – кліматичних умов, розробку ефективних систем захисту рослин для максимального використання біологічного потенціалу цієї унікальної культури.

За матеріалами даного розділу автором опубліковано наукові праці [103 – 107, 110, 167 - 207].

РОЗДІЛ 2.

УМОВИ, ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Характеристика ґрунтових умов проведення досліджень

Дослідження проводились у зоні західного Лісостепу України. Територія характеризується підвищеними ділянками рельєфу, дренаваністю та достатньою забезпеченістю вологою. Переважають темно-сірі опідзолені ґрунти, які мають високу природню родючість [1]. За своїми властивостями ці ґрунти дуже близькі до чорноземів і відносяться до високоврожайних.

Темно-сірі опідзолені ґрунти представляють собою генетично самостійний тип ґрунтових утворень, що характеризуються унікальним поєднанням дернового процесу ґрунтоутворення з елементами опідзолення, що обумовлює їх особливі морфолого-генетичні риси та агрономічні властивості [27]. Ці ґрунти сформувалися переважно в умовах зріджених освітлених лісів з добре розвиненим трав'янистим покривом, що створило специфічні умови для їх генезису [134].

Згідно з дослідженнями, представленими в Енциклопедії Сучасної України, темно-сірі опідзолені ґрунти формуються в регіонах із гідротермічним коефіцієнтом за вегетаційний період понад 1,00 під розрідженими дібровами паркового типу з дуже добре розвинутим трав'янистим покривом. Діагностичною ознакою цих ґрунтів є параметри коефіцієнта профільного накопичення гумусу в метровому шарі, що становить 0,040-0,070, що свідчить про інтенсивність гумусонакопичення [139].

Морфологічна будова темно-сірих опідзолених ґрунтів характеризується добре гумусованою верхньою частиною профілю та безгумусною нижньою частиною [134]. Глибина гумусової частини профілю обумовлена поширенням кореневої системи трав'янистої рослинності, що є певним антагоністом дендрофлори, і перевищує 40-50 см, може досягати 100-110 см [139]. За даними досліджень, потужність гумусового горизонту в темно-сірих лісових ґрунтах

досягає 40 см, що значно більше порівняно з іншими підтипами сірих лісових ґрунтів [140].

Фізико-хімічні властивості темно-сірих опідзолених ґрунтів характеризуються вмістом гумусу від 3,5-4 % до 8-9 %, причому в складі гумусу переважають гумінові кислоти над фульвокислотами, що забезпечує формування гуматного типу гумусу. Реакція ґрунтового розчину переважно слабокисла або близька до нейтральної, карбонати кальцію зустрічаються переважно в материнській породі, проте можуть бути і вище в профілі [134].

Дослідження показують, що темно-сірі опідзолені ґрунти мають більш сприятливі агрофізичні властивості, істотно зростає вологоемність та вміст елементів живлення порівняно з іншими підтипами сірих лісових ґрунтів [139].

Важливою характеристикою темно-сірих опідзолених ґрунтів є слабо виражені ознаки опідзолення, що відрізняє їх від світло-сірих та сірих підтипів [134]. Кремнеземиста присипка в них не щільна, іноді може взагалі бути відсутня, що свідчить про найменш інтенсивний підзолистий процес серед усіх сірих лісових ґрунтів [140].

Географічне поширення темно-сірих опідзолених ґрунтів в Україні охоплює лісостепову зону, де вони займають лісові межиріччя та становлять понад 40 % загальної площі орних ґрунтів [27]. Утворилися вони на карбонатних лесовидних суглинках і поширені переважно на Сансько-Дністровській рівнині, Грядовому Побужжі та Опіллі. Темно-сірі опідзолені ґрунти залягають на вододільних просторах і схилах з меншими абсолютними відмітками порівняно з сірими опідзоленими [26].

Проблематика деградації темно-сірих опідзолених ґрунтів пов'язана насамперед з ерозійними процесами, що призводять до зменшення потужності ґрунтового профілю та погіршення агрофізичних властивостей. Тривалий антропогенний тиск на ґрунти та процеси ерозійної деградації призвели до зменшення вмісту гумусу: у слабкоеродованих ґрунтах вміст гумусу становить 2,03 %, у середньоеродованих – 1,45 %, у сильноеродованих – 1,06 %, що на 16,9-64,6 % менше порівняно з еталонними ділянками [26].

Ґрунт дослідної ділянки - темно – сірий опідзолений легкосуглинковий, з такими агрохімічними характеристиками: вміст гумусу (за методом Тюріна) – 2,08 - 2,20 %, рН – 6,05 – 6,08, легкогідралізований азот – 105 - 111 мг/кг ґрунту, рухомі форми фосфору (за методом Чирикова) – 125 - 132 мг/кг ґрунту, рухомі форми калію (за Чириковим) – 108 - 114 мг/кг ґрунту, вміст міді – 1,19 - 1,27 мг/кг та цинку – 1,06 - 1,09 мг/кг, марганцю (за методом Пейве-Рінккіса) – 15,0 – 19,0 мг/кг, бору (за методом Рінккіса) – 0,90 – 0,94 мг/кг, заліза – 129,0 - 134, 0 мг/кг (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Агрохімічна характеристика ґрунту дослідних ділянок, середнє за 2019 – 2024 рр.

Показник	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Вміст гумусу за Тюріним, %	2,19	2,08	2,11	2,12	2,18	2,20
рН сольової витяжки	6,07	6,05	6,08	6,06	6,08	6,07
Легкогідролізований азот за Корнфільдом, мг/кг ґрунту	108	109	111	106	105	110
Рухомі форми фосфору за Чириковим, мг/кг ґрунту	126	128	132	125	130	127
Рухомі форми калію за Чириковим, мг/кг ґрунту	111	108	110	110	109	114

Реакція ґрунтового середовища темно-сірих опідзолених ґрунтів відповідає толерантності амаранту до слабкокислих умов, що забезпечує оптимальну доступність поживних речовин для рослин. Гумусованість профілю створює сприятливі умови для розвитку потужної кореневої системи амаранту і

дозволяє рослинам ефективно використовувати поживні речовини та вологу з глибших шарів. Грубопиловато-легкосуглинковий механічний склад ґрунту забезпечує оптимальний водно-повітряний режим, необхідний для нормального росту та розвитку культури.

Висока природна родючість та сприятливі агрофізичні властивості, включаючи підвищену вологоємність, створюють оптимальні умови для реалізації генетичного потенціалу продуктивності амаранту, а залягання на добре дренованих вододілах запобігає перезволоженню, до якого амарант є чутливим.

Агрономічна оцінка темно-сірих опідзолених ґрунтів свідчить про їх високу природну родючість, що зумовлена більшим вмістом гумусу, глибшою гумусованістю профілю, кращими фізичними та фізико-хімічними властивостями порівняно з сірими опідзоленими ґрунтами [27].

Отже, темно-сірі опідзолені ґрунти за своїми характеристиками повністю відповідають агробіологічним вимогам амаранту і можуть забезпечити стабільно високу врожайність цієї культури при дотриманні відповідних агротехнічних заходів. Поєднання природної родючості та сприятливих фізико-хімічних властивостей темно-сірого опідзоленого ґрунту робить його обґрунтовано одними з найкращих для товарного виробництва зерна амаранту в умовах лісостепової зони України.

2.2. Метеорологічні умови проведення досліджень

Головними агрокліматичними показниками потреби рослин у теплі є суми активних та ефективних температур та середньорічна та середньомісячні температури. Забезпечення рослин вологою визначається сумою опадів і запасами продуктивної вологи.

Кліматичні умови відіграють вирішальну роль у вирощуванні сільськогосподарських культур, визначаючи не лише можливість їх культивування в конкретному регіоні, але й продуктивність, якість врожаю та загальну економічну ефективність виробництва. Залежність

сільськогосподарських робіт, а також продуктивності та якості культур від погодних та кліматичних умов робить сільськогосподарський сектор особливо вразливим до впливу зміни клімату [424]. Серед найбільш впливових кліматичних факторів - температура та наявність вологи, які через свій сильний вплив на ріст і розвиток рослин займають центральне місце в плануванні та прийнятті рішень у сільському господарстві.

Амарант представляє особливий інтерес як культура, що демонструє виняткову адаптованість до різноманітних кліматичних умов. Амарант належить до групи С4 рослин, які виявляють вищу ефективність використання вологи та фотосинтезу при високих температурах порівняно з С3 культурами [275]. Ця особливість робить амарант надзвичайно цінною культурою для регіонів із складними кліматичними умовами. Рослина оптимально росте при температурах від 21°C до 29°C, але може вегетувати при температурі від 10°C до 43°C, що значно розширює географічні межі його вирощування [260].

Особливо важливим аспектом є стійкість амаранту до посухи та його низькі потреби у воді. Для росту і розвитку рослин амаранту оптимальні є середні річні опади від 1270 до 1520 мм, але може вегетувати і за кількості від 250 до 2800 мм, що робить амарант придатним для вирощування як у регіонах із достатнім зволоженням, так і в посушливих областях [260]. Водні потреби для вирощування амаранту значно нижчі порівняно з пшеницею (менше ніж на 50 %) та кукурудзою (менше ніж на 40-50 %) [373]. Дослідження в умовах помірно континентального клімату підтвердили можливість культивування теплолюбивого амаранту в кліматичних умовах із середньорічними опадами 500 мм, що свідчить про високий адаптивний потенціал цієї культури [337]. Підвищена кількість опадів продовжувала міжфазні періоди, що підтверджено прямою корелятивною залежністю ($r=0,52\dots0,99$). Найбільш вологостійкі сорти амаранту Гігант, Харківський 1, Ацтек [6; 170].

Температурні вимоги амаранту також демонструють його пристосованість до різних кліматичних зон. Насіння проростає приблизно через тиждень після сівби при оптимальній температурі 21-24 °C, при цьому схожість амаранту

швидка, коли температура ґрунту вища за 20 °С, і може значно сповільнюватися або взагалі не відбуватися, якщо температура ґрунту нижча за 10°С. Ця особливість визначає оптимальні терміни сівби та географічні межі культивування [258].

Практичне значення розуміння кліматичних вимог амаранту полягає у можливості його використання як альтернативної культури в умовах зміни клімату. Амарант добре адаптований до вирощування на маргінальних землях і має значний потенціал для подальшого селекційного поліпшення завдяки своєму високому генетичному різноманіттю та широкому діапазону фенотипічної пластичності. Його природна толерантність до високих температур, посухи, бідних ґрунтових умов та відсутність серйозних хвороб робить амарант надзвичайно цікавою культурою для складних умов вирощування, особливо в контексті наслідків зміни клімату [253].

У цілому кліматичні умови зони західного Лісостепу сприятливі для вирощування більшості сільськогосподарських культур. Проте природні лімітуючі чинники існують, вони постійно змінюються. Основними з них є низькі температури, відсутність снігового покриву взимку. Сюди відносимо також високі температури і нестача опадів в теплу пору року, високою стійкістю до яких характеризується саме амарант.

За даними сайту Метеопост (<https://meteopost.com/weather/archive/>) кліматичні умови 2019 року характеризувалися загальним потеплінням на 2,0°С відносно кліматичної норми з надлишком опадів 88,7 мм, що створювало неоднозначні умови для вирощування амаранту (рис. 2.1; 2.2; 2.3; 2.4). Травень цього року поєднував прохолодну погоду (-0,9°С) з надлишком опадів (92,2 мм), що могло ускладнити процес сівби та початкового розвитку культури (рис. 2.2). Згідно з науковими дослідженнями, амарант має повільний початковий ріст протягом перших кількох тижнів після посіву, що робить його вразливим до конкуренції з бур'янами та несприятливих умов зволоження [286]. Червень створював більш сприятливі умови з підвищеною температурою (+4,2°С) та дефіцитом опадів (- 42,2 мм), що відповідало потребам амаранту у добре

дренованих ґрунтових умовах для розвитку кореневої системи [293]. Серпень характеризувався теплою погодою ($+1,9^{\circ}\text{C}$) з надлишком опадів (29,8 мм), що під час наливання зерна могло негативно вплинути на якість урожаю.

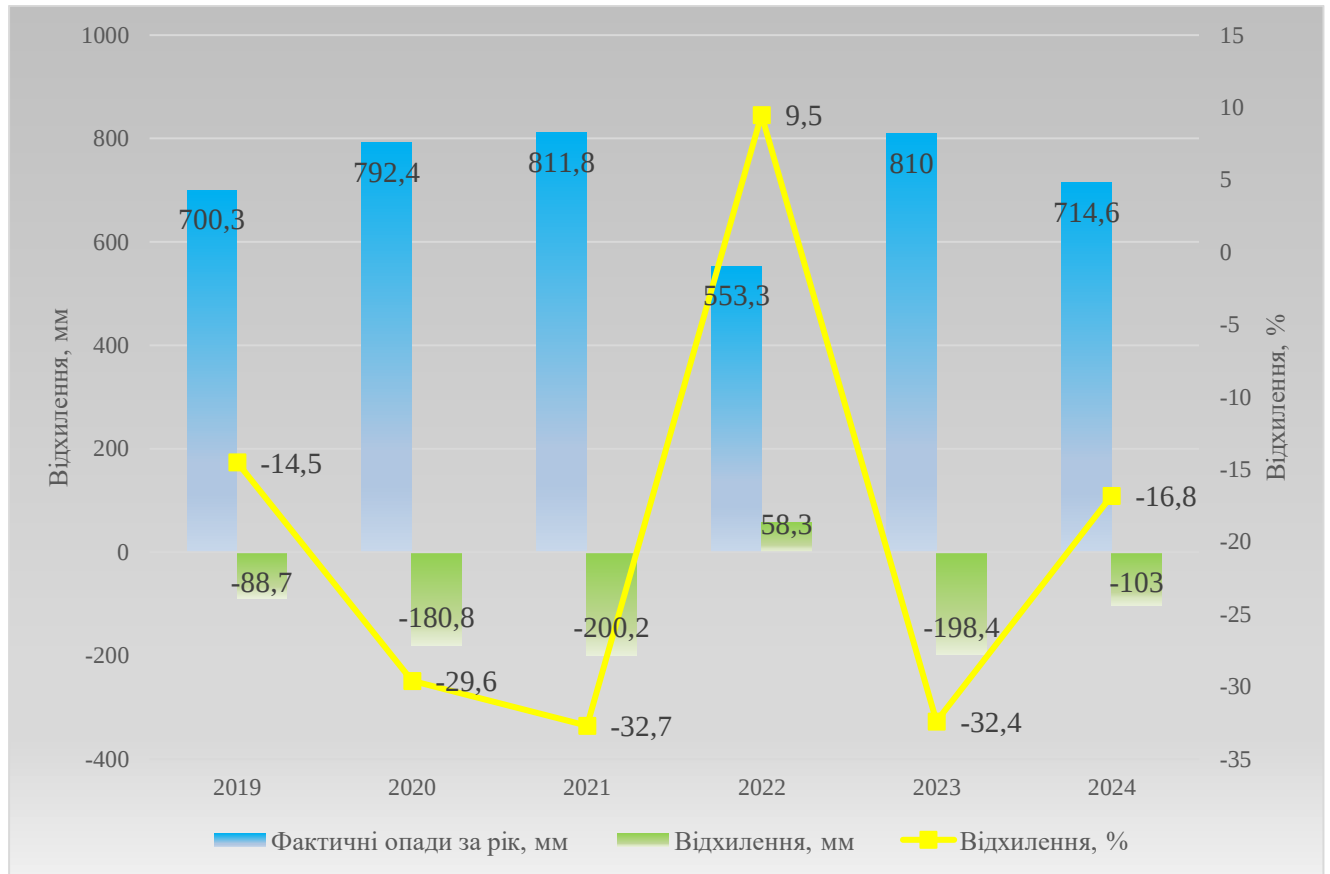


Рис. 2.1. Річні відхилення опадів від середньобаторічної норми.

Найменш сприятливим для вирощування амаранту виявилися кліматичні умови 2020 року: температурний режим був на $1,7^{\circ}\text{C}$ вище норми та значний надлишок опадів (180,8 мм). Травень цього року поєднував холодну погоду ($-3,2^{\circ}\text{C}$) з надлишком вологи (79,2 мм), що створювало критичні умови для проростання насіння.

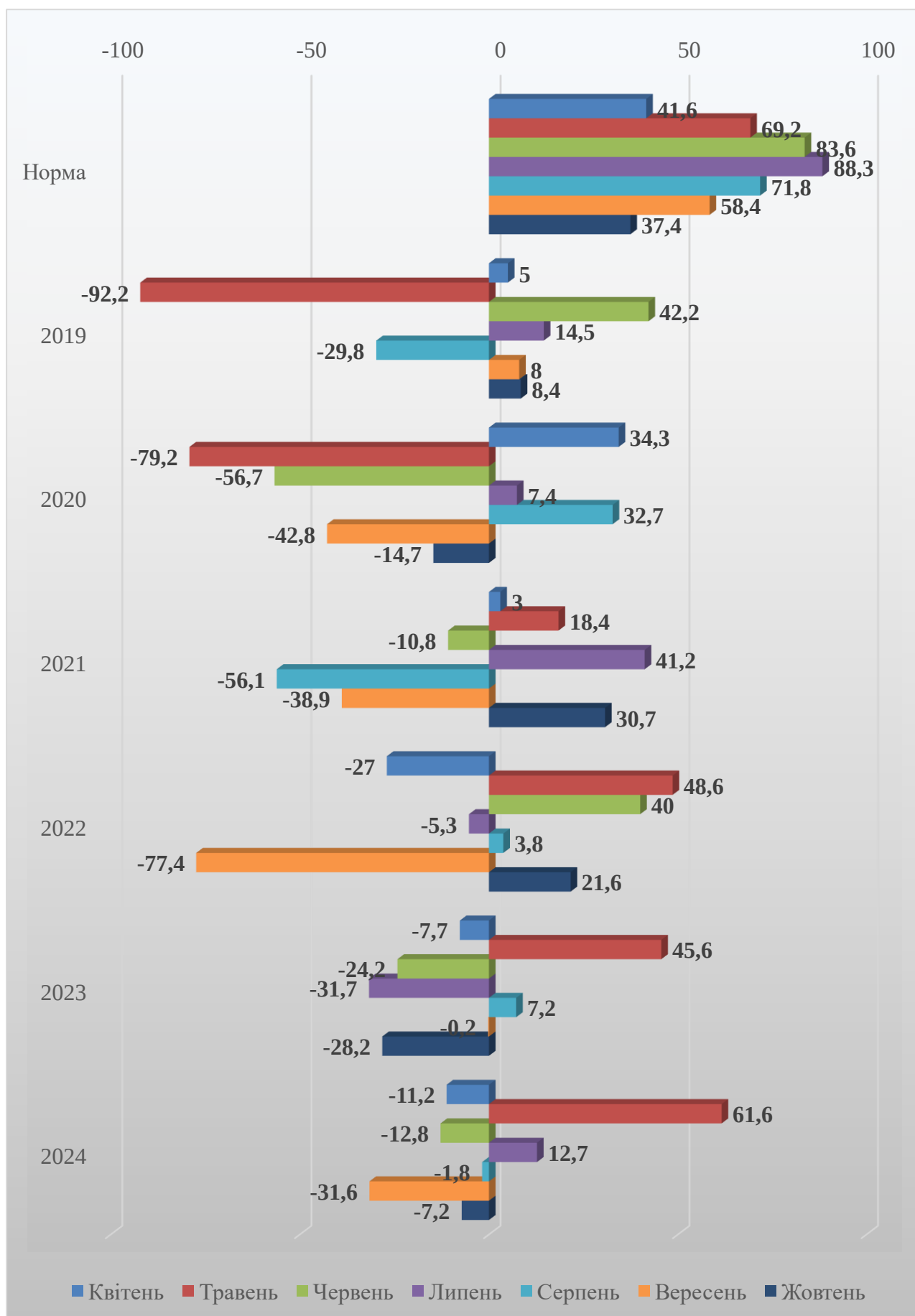


Рис. 2.2. Місячні відхилення опадів від середньобогаторічної норми, мм.

Дослідження показують, що амарант потребує мінімальної температури ґрунту 10°C для проростання, а оптимальною є температура 20°C і вище [291]. Червень продовжував тенденцію надмірного зволоження (56,7 мм) при помірному потеплінні (+1,5°C), що в поєднанні створювало сприятливі умови для розвитку патогенів. Серпень забезпечував кращі умови з теплом (+2,2°C) та дефіцитом опадів (-32,7 мм), що відповідало потребам амаранту в посушливих умовах для дозрівання.

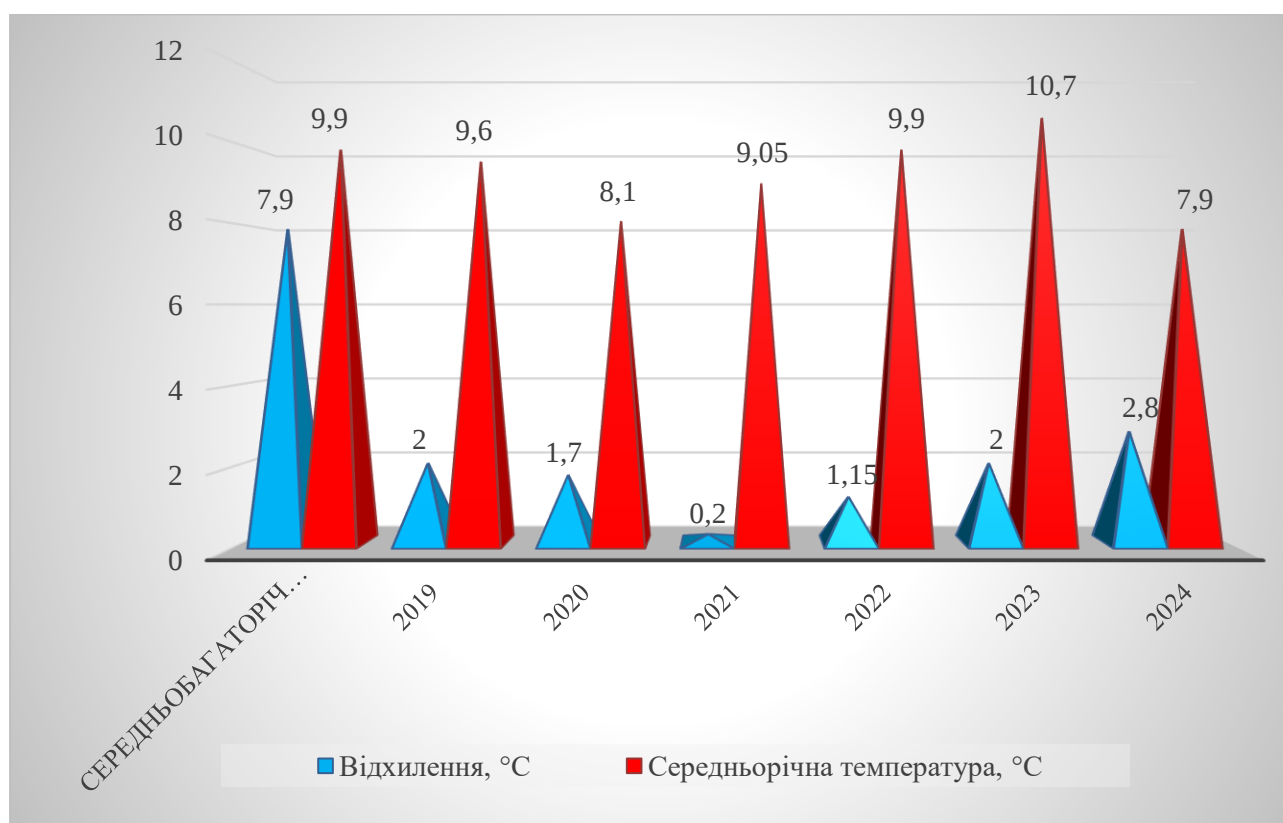


Рис. 2.3. Річні відхилення температури повітря від середньобагаторічної норми, °C.

Температурний режим 2021 рік відзначався показниками близькими до норми (+0,2°C) з надлишком опадів у 200,2 мм, що створювало нестабільні умови протягом вегетаційного періоду. Травень мав несприятливе поєднання прохолодної погоди (-1,3°C) з дефіцитом опадів (-18,4 мм), що ускладнювало початковий розвиток рослин при недостатній вологості ґрунту. Липень характеризувався сприятливою жаркою погодою (+3,1°C), але з дефіцитом

опадів (-41,2 мм) під час активного росту. Дослідження ефективності транспірації амаранту показують, що при водному стресі рослини здатні підвищувати ефективність використання води, але це може знижувати продуктивність [248, 373]. Серпень-вересень мали несприятливе поєднання прохолодної погоди ($-0,5^{\circ}\text{C}$ для обох місяців) з надлишком опадів, що негативно впливало на процеси дозрівання зерна.

Найбільш сприятливим для вирощування амаранту виявився 2022 рік з температурою на $1,15^{\circ}\text{C}$ вище норми та дефіцитом опадів (-58,3 мм). Ці умови ідеально відповідали біологічним особливостям культури як посухостійкої рослини. Науковці підтверджують, що амарант демонструє високу осмотичну адаптацію (1,08-1,24 МПа), що дозволяє рослинам продовжувати функціонувати в умовах серйозної посухи [248]. Травень забезпечував близькі до норми температурні умови ($+0,1^{\circ}\text{C}$) з дефіцитом опадів (-48,6 мм), що сприяло нормальному розвитку сходів. Червень і серпень створювали оптимальні умови з теплою погодою ($+19,4^{\circ}\text{C}$ та $+20,0^{\circ}\text{C}$ відповідно) та переважно посушливими умовами, що відповідало потребам С4 рослини у високих температурах та обмеженій вологості [373]. Вересень мав надлишок опадів (77,4 мм) при незначному зниженні температури ($-1,1^{\circ}\text{C}$), що забезпечило достатньо вологи для завершення наливання зерна.

Кліматичні умови 2023 року характеризувалися значним потеплінням ($+2,0^{\circ}\text{C}$) з надлишком опадів (198,4 мм), створюючи помірно сприятливі умови. Травень мав температуру на рівні середньобаторічного показника, але з дефіцитом опадів (45,6 мм), що могло ускладнити початковий розвиток при недостатній вологості ґрунту. Проте амарант здатен контролювати втрати води через зменшення швидкості розширення листків, запобігаючи зневодненню листових тканин [399]. Червень-липень мали надлишок опадів (24,2 мм та 31,7 мм відповідно) при помірному потеплінні. Серпень-вересень забезпечували оптимальні умови з жаркою погодою ($+3,1^{\circ}\text{C}$ та $+3,7^{\circ}\text{C}$) та близькими до норми опадами для дозрівання зерна.

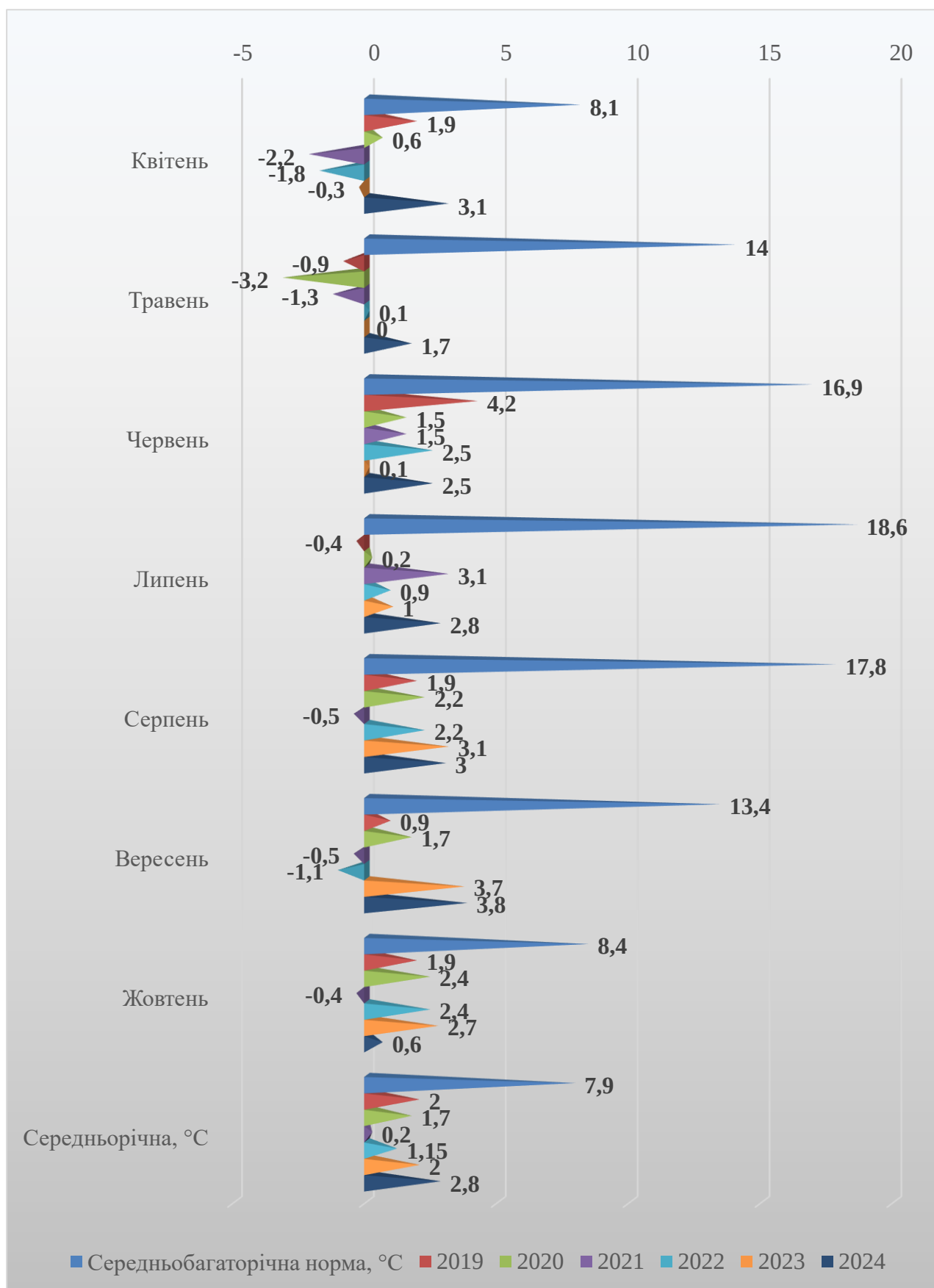


Рис. 2.4. Місячні відхилення температури повітря від середньобогаторічної норми, °C.

Найвищий температурний режим у роки досліджень був у 2024 рік: (+2,8°C) з надлишком опадів (103,0 мм), створюючи загалом сприятливі умови. Травень забезпечував теплу погоду (+1,7°C) але з значним дефіцитом опадів (61,6 мм), що ускладнювало сівбу та початковий розвиток рослин. Проте завдяки здатності амаранту формувати потужну кореневу систему для поглинання води з глибших шарів ґрунту, це не стало критичним фактором [220]. Літні місяці червень, липень, серпень забезпечували стабільно жаркі умови (+2,5°C, +2,8°C, +3,0°C відповідно), що оптимально відповідало потребам культури.

Вересень мав найвищу температуру (+3,8°C) з надлишком опадів (31,6 мм), що забезпечило сприятливі умови для завершення вегетації.

Загалом, аналіз кліматичних умов підтверджує, що амарант найкраще проявляв свої продуктивні властивості в роки з помірними або посушливими умовами та стабільно теплою погодою. Роки з надмірним зволоженням, особливо на початкових стадіях розвитку, створювали несприятливі умови.

2.3. Схеми дослідів та методика проведення досліджень

Для вивчення агробіологічних основ формування врожаю амаранту в умовах західного Лісостепу України на дослідному полі кафедри технологій у рослинництві Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнології ім. С.З. Гжицького було закладено низку польових дослідів:

Дослід 1 (2019 - 2021 рр.) – «Урожайність зерна амаранту залежно від сорту». Вивчали придатність для вирощування в умовах достатнього зволоження семи найбільш поширених в Україні сортів амаранту: Харківський 1, Лера, Сем, Студентський, Поліщук, Ацтек, Ультра за рівня удобрення $N_{120}P_{80}K_{120}$.

Загальна площа ділянки становила 30 м², облікова – 20 м². Сіяли широкорядним способом з міжряддями 45 см на глибину 1 см. Строк сівби третя декада квітня, норма висіву 0,8 кг/га. Дослідження проводились у трьох повтореннях. У досліді встановлювали врожайність зерна, елементи структури

врожаю, показники якості та економічної ефективності. Результати досліджень опубліковані - [170, 177, 184, 203, 204, 561, 562] (табл.2.2).

Таблиця 2.2

**Схема досліду 1 «Урожайність зерна амаранту залежно від сорту».
(2019 - 2021 рр.)**

Сорт	I повторення	II повторення	III повторення
Ультра	1	2	3
Студентський	4	5	6
Харківський 1	7	8	9
Лера	10	11	12
Ацтек	13	14	15
Сем	16	17	18
Поліщук	19	20	21

Дослід 2 (2019 - 2021 рр.) –*«Урожайність фітомаси амаранту залежно від сорту і придатність її до використання на зелене добриво»*. Вивчали шість сортів амаранту: Харківський 1, Лера, Сем, Ацтек, Студентський, Ультра. Вносили мінеральні добрива у нормі $N_{200}P_{80}K_{120}$. Сіяли широкорядним способом з міжряддями 45 см на глибину 1 см (табл. 2.3).

Таблиця 2.3

Схема досліду 2 «Урожайність фітомаси амаранту залежно від сорту і придатність її до використання на зелене добриво». (2019 - 2021 рр.)

Сорт	I повторення	II повторення	III повторення
Студентський	1	2	3
Харківський 1	4	5	6
Лера	7	8	9
Ультра	10	11	12
Ацтек	13	14	15
Сем	16	17	18

Строк сівби третя декада травня, норма висіву насіння 1,2 кг/га. Приорювали біомасу за досягнення укісної стиглості у фазі цвітіння. У досліді встановлювали елементи структури врожаю, урожайність зеленої маси, урожайність сухої речовини, вміст елементів живлення в сухій масі, обсяг надходження елементів живлення в ґрунт. Результати досліджень опубліковані - [186, 205].

Дослід 3 (2019 -2020 рр.) – *«Вплив рівнів удобрення на продуктивність амаранту сорту Ультра в умовах Лісостепу західного»*. Вивчали 6 норм добрив контроль; N₄₀P₂₀K₄₀; N₈₀P₄₀K₈₀; N₁₂₀P₄₀K₈₀; N₁₆₀P₈₀K₁₂₀; N₂₀₀P₈₀K₁₂₀. Польові дослідження у трьохразовій повторності (табл. 2.4).

Таблиця 2.4

Схема дослід 3 «Вплив рівнів удобрення на продуктивність амаранту сорту Ультра в умовах Лісостепу західного». (2019 - 2020 рр.)

Рівень удобрення	I повторення	II повторення	III повторення
Контроль	1	2	3
N ₄₀ P ₂₀ K ₄₀	4	5	6
N ₈₀ P ₄₀ K ₈₀	7	8	9
N ₁₂₀ P ₄₀ K ₈₀	10	11	12
N ₁₆₀ P ₈₀ K ₁₂₀	13	14	15
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₂₀	16	17	18

Загальна площа дослідної ділянки становила 30 м², облікова – 20 м². Норма висіву становила 0,8 кг/га. Строк сівби - третя декада квітня. У досліді встановлювали елементи структури врожаю та урожайність зерна. Результати досліджень опубліковані - [170, 172, 184].

Дослід 4 (2019 – 2021 рр.) – *«Урожайність зерна амаранту залежно від норми добрив»*. Вивчали для сорту Харківський 1 сім норм внесення мінеральних добрив: контроль, N₄₀P₂₀K₄₀, N₈₀P₄₀K₈₀, N₁₂₀P₄₀K₈₀, N₁₆₀P₈₀K₁₂₀, N₂₀₀P₈₀K₁₂₀, N₂₀₀P₈₀K₁₆₀. Загальна площа дослідної ділянки становила 30 м², облікова – 20 м².

Схема досліду 4 «Урожайність зерна амаранту залежно від добрив».
(2019 – 2021 рр.)

Норми добрив	I повторення	II повторення	III повторення
Контроль	1	2	3
N ₄₀ P ₂₀ K ₄₀	5	6	7
N ₈₀ P ₄₀ K ₈₀	9	10	11
N ₁₂₀ P ₄₀ K ₈₀	13	14	15
N ₁₆₀ P ₈₀ K ₁₂₀	17	18	19
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₂₀	21	22	23
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₆₀	25	26	27

Норма висіву становила 0,8 кг/га. Висівали сорт Харківський 1 широкорядним способом з міжряддями 45 см, у третій декаді квітня У досліді встановлювали елементи структури врожаю, урожайність зерна, показники якості (вміст білка, олії, вуглеводів). Результати досліджень опубліковані - [170, 178, 184, 564, 566].

Дослід 5 (2020 - 2022 рр.) – «Урожайність зерна амаранту сорту Харківський 1 залежно від норми висіву». Досліджували шість норм висіву: 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2 млн схожих насінин на 1 га за рівня удобрення N₁₆₀P₆₀K₁₂₀.

Облікова площа – 30 м², повторність досліду – чотириразова. Розміщення ділянок – систематичне. Сіяли рядковим способом з міжряддями 45 см на глибину 1 см у третій декаді квітня у всі три роки досліджень У досліді встановлювали такі елементи структури: польову схожість, виживання рослин, висоту рослин, довжину волоті, масу насіння з рослини, масу 1000 насінин, кількість рослин на час збирання та урожайність зерна. Результати досліджень опубліковані - [171, 192, 203, 565].

Таблиця 2.6

Схема дослідів 5 «Урожайність зерна амаранту сорту Харківський 1 залежно від норми висіву». (2020 - 2022 рр.)

Норма висіву, млн/га схожих насінин	I повторення	II повторення	III повторення	IV повторення
0,2	1	2	3	4
0,4	5	6	7	8
0,6	9	10	11	12
0,8	13	14	15	16
1,0	17	18	19	20
1,2 (контроль)	21	22	23	24

Дослід 6 (2020 -2022 рр.) – «Урожайність амаранту залежно від сорту та норми висіву в умовах достатнього зволоження». Досліджували шість норм висіву: 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2 млн схожих насінин на 1 га для шести сортів Харківський 1, Ацтек, Лера, Сем, Студентський, Ультра за рівня удобрення $N_{160}P_{60}K_{120}$.

Таблиця 2.7

Схема дослідів 6 «Урожайність амаранту залежно від сорту та норми висіву в умовах достатнього зволоження». (2020 - 2022 рр.)

<u>Фактор А</u> Сорт	<u>Фактор Б</u> Норма висіву, млн/га схожих насінин
Ультра (контроль)	0,2 млн схожих насінин на 1 га
Харківський 1	0,4 млн схожих насінин на 1 га
Ацтек	0,6 млн схожих насінин на 1 га
Лера	0,8 млн схожих насінин на 1 га
Сем	1,0 млн схожих насінин на 1 га
Студентський	1,2 млн схожих насінин на 1 га (контроль)

Облікова площа – 30 м². Повторність досліду – триразова. Розміщення ділянок – систематичне. Сіяли рядковим способом з міжряддями 45 см на глибину 1 см у третій декаді квітня у всі роки досліджень. У досліді вивчали густоту рослин, масу насіння з рослини, густоту рослин, масу 1000 насінин, урожайність зерна. Результати досліджень опубліковані - [171, 192, 203, 565].

Дослід 7 (2021 - 2023 рр.) – «Урожайність амаранту сорту Лера залежно від способу сівби». Вивчалися способи сівби амаранту сорту Лера. Насіння висівали з міжряддями 15 см, 30 см, 45 см та 60 см. Норма висіву була однаковою - 0,4 млн/га (40 насінин/м²). Рівень мінерального живлення - N₁₆₀P₆₀K₁₂₀. Сівбу проводили в третій декаді квітня - на початку травня. Облікова площа ділянок – 30 м², повторність триразова, розміщення систематичне. У досліді встановлювали елементи структури врожаю та урожайність зерна. Результати досліджень опубліковані - [179, 189, 192, 193].

Таблиця 2.8

Схема досліду 7 «Урожайність амаранту сорту Лера залежно від способу сівби». (2021 - 2023 рр.)

Спосіб сівби (Ширина міжряддя)	I повторення	II повторення	III повторення
15 см	1	2	3
30 см	4	5	6
45 см	7	8	9
60 см	10	11	12

Дослід 8 (2021 – 2023 рр.) – «Урожайність зерна амаранту залежно від строків сівби». Вивчалися такі строки сівби амаранту сорту Лера: 15 квітня, 30 квітня, 15 травня, 30 травня, 15 червня, 30 червня, 15 липня, 30 липня. Загальна площа ділянки становила 30 м², облікова – 20 м². Дослідження проводились у трьох повтореннях. Норма висіву насіння становила 0,4 млн/га за норми мінеральних добрив N₁₆₀P₆₀K₁₂₀. У досліді встановлювали вплив строків сівби на елементи структури та врожайність. Результати досліджень опубліковані - [192, 197].

Таблиця 2.9

Схема досліду 8 «Урожайність зерна амаранту залежно від строків сівби». (2021 - 2023 рр.)

Строк сівби	I повторення	II повторення	III повторення
15 квітня	1	2	3
30 квітня	4	5	6
15 травня	7	8	9
30 травня	10	11	12
15 червня	13	14	15
30 червня	16	17	18
15 липня	19	20	21
30 липня	22	23	24

Дослід 9 (2021 -2023 рр.) – «Урожайність зеленої маси амаранту залежно від сорту та рівня удобрення». Вивчали чотири сорти амаранту: Студентський, Харківський 1, Лера, Поліщук.

Таблиця 2.10

Схема досліду 9 «Урожайність зеленої маси амаранту залежно від сорту та рівня удобрення». (2021 - 2023 рр.)

<u>Фактор А</u> Фон удобрення	<u>Фактор Б</u> Сорт	I повторення	II повторення	III повторення
Контроль	Студентський	1	2	3
	Харківський 1	4	5	6
	Лера	7	8	9
	Поліщук	10	11	12
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₂₀	Студентський	13	14	15
	Харківський 1	16	17	18
	Лера	19	20	21
	Поліщук	22	23	24

Загальна площа ділянки становила 30 м², облікова – 20 м². Дослідження проводились у трьох повтореннях. На варіанті з мінеральним удобренням застосовували норму N₂₀₀P₈₀K₁₂₀. Строк сівби - третя декада квітня. У досліді встановлювали елементи структури врожаю, урожайність зеленої маси, урожайність сухої речовини, вміст елементів живлення в сухій масі, обсяг надходження елементів живлення в ґрунт. Результати досліджень опубліковані - [186].

Дослід 10 (2021-2023 рр.) – «Встановлення ефективних хімічних засобів регулювання чисельності бур'янів в посівах амаранту сорту Харківський 1». Для вивчення у польовому досліді було взято препарати встановлені експериментальним шляхом, як найтолерантніші до амаранту серед 36 варіантів і забезпечили позитивні результати. Сорт Харківський 1. Вивчали сім варіантів захисту від бур'янів: контроль, Бетанал Макс Про (фенмедіфам (60 г/га) + десмедіфам (47 г/га) + етофумезат (75 г/га) + ленацил (27 г/га) післясходовий, Штефам (фенмедіфам (320 г/га) післясходовий, Гезагард (прометрин (500 г/га) досходовий, Команд (кломазон (480 г/га) досходовий, Карібу (трифлусульфурон (500 г/га) післясходовий, Лонтрел Гранд клопіралід (750 г/га). Облікова площа 10 м², повторність досліді чотириразова. Строк сівби - третя декада квітня. Розміщення ділянок систематичне. Сорт – Харківський 1. Встановлювали рівень забур'янення, елементи структури та урожайність зерна (рис. 2.11).

Дослід 11 (2022 – 2024 рр.) – «Урожайність зерна амаранту залежно від глибини сівби». Вивчали глибини загортання насіння на 1, 2, 3, 4 та 5 см. Після вирівнювання і прикочування на поверхні ґрунту маркером робили борозенки відповідної глибини завдовжки 2,22 м, в яких вручну рівномірно розміщували по 90 насінин амаранту. Ширина міжрядь становила 45 см. З розрахунку на 1 га висівали 0,4 млн/га насіння сорту Харківський 1. Насіння в борозенках присипали вологим шаром ґрунту до рівня поверхні. Облікова площа ділянки становила 4,5 м² за чотириразової повторності. Розміщення ділянок систематизоване. Строк сівби - третя декада квітня. Досліджували елементи

структури врожаю та урожайність зерна. Результати досліджень опубліковані - [179, 192, 193, 194] (рис. 2.12).

Таблиця 2.11

Схема досліду 10 «Встановлення ефективних хімічних засобів регулювання чисельності бур'янів в посівах амаранту». (2021 - 2023 рр.)

Варіант Назва гербіциду, фірма	Діючі речовини, г/л; кг/га	Норма внесення	Строки внесення
Контроль	два міжрядних обробітки та ручне прополювання.		
Бетанал Макс Про 209 OD, Bayer	Phenmedipham, 60 + Desmedipham, 47 + Etofumesate, 75 + Lenacil, 27	1,25 л/га	Після сходів амаранту у фазі сім'ядоль у бур'янів (ВВСН 10)
Штефам к.с., Stefes	Phenmedipham, 320	1,0 л/га	2-6 листків амаранту (ВВСН 12)
Гезагард 500 FW, к. с., Syngenta	Prometrin, 500	2,0 л/га	Відразу після сівби (ВВСН 01)
Команд 48 к.е., FMC	Clomazone, 480	0,10 л/га	Відразу після сівби (ВВСН 01)
Карібу 50 з.п., FMC	Triflusalufuron- methyl, 500	0,02 кг/га	4-5 листків амаранту (ВВСН 13)
Лонтрел Гранд в.г., Syngenta	Clopyralid, 750	0,1 кг/га	4-5 листків амаранту (ВВСН 13)

Схема досліду 11 «Урожайність зерна амаранту залежно від глибини сівби». (2022 - 2024 рр.)

Глибина сівби, см	I повторення	II повторення	III повторення	IV повторення
1 см	1	2	3	4
2 см	5	6	7	8
3 см	9	10	11	12
134 см	13	14	15	16
5 см	17	18	19	20

Дослід 12. (2022 – 2024 рр.) – *«Ефективність захисту посівів амаранту від хвороб»*. Вивчали наступні фунгіциди: Абакус, 12,5 % с.е., Аканто Плюс, 28 % к.с., Амістар Екстра, 28 % к.с., Квадріс Топ, 32,5 % к.с., Медісон, 26,3 % к.с.. Встановлювали ефективність препаратів та рівень урожайності амаранту. Облікова площа дослідної ділянки становила 30 м². Повторність досліду — триразова. Розміщення ділянок — систематичне. Строк сівби - третя декада квітня. Сорт – Харківський 1. Обприскування проводили ранцевим оприскувачем з розрахунку витрати 200 л/га робочої рідини на 1 га. Обліки ураження рослин збудниками хвороб проводили фазі бутонізації рослин амаранту, за перших проявів: перед обприскуванням, на 3-й, 7-й і 15-й день після обприскування фунгіцидами, використовуючи 5-бальну шкалу, наведену в «Методики випробування і застосування пестицидів / за ред. проф. С.О. Трибеля. Київ. Світ 2001. 448 с.». Дослід закладали на сорті амаранту Харківський 1. Рівень удобрення - N₁₆₀P₆₀K₁₂₀. Сіяли широкорядковим способом з міжряддями 45 см на глибину 1 см у другій декаді квітня у всі роки досліджень. Проти бур'янів використовували міжрядні обробітки та гербіцид Фюзилад Форте, 15 % к.е. (1,0 л/га) (табл. 2.13).

Схема досліду 12. «Ефективність захисту посівів амаранту від хвороб».
2022 – 2024 рр.)

№ варіанту	Варіант	Діюча речовина	Норма внесення препарату, л/га
1	Контроль	обприскування рослин водою	-
2	Абакус, 12,5 % с.е.	піраклостробін, 62,5 г/л + епоксиконазол, 62,5 г/л	1,0
3	Аканто Плюс, 28 % к.с.	пікоксистробін, 200 г/л + ципроконазол, 80 г/л	0,5
4	Амістар Екстра, 28 % к.с.	ципроконазол, 80 г/л + азоксистробін, 200 г/л	0,5
5	Квадріс Топ, 32,5 % к.с.	азоксистробін, 200 г/л + дифеноконазол, 125 г/л	0,75
6	Медісон, 26,3 % к.с.	протіоконазол, 175 г/л + трифлуксистробін, 88 г/л	0,5

Дослід 13. (2022 – 2024 рр.) – *«Захист посівів амаранту сорту Харківський 1 від шкідників»*. Вивчали наступні інсектициди: Енжіо 24,7 % к. с., Актара 2,5 % в. г., Бі 58-новий 40 % к. е., Децис-флюкс 25 % к. е., Ф'юрі 10 % в. е. Облікова площа дослідної ділянки становила 30 м². Повторність досліду — триразова. Розміщення ділянок — систематичне. Строк сівби - третя декада квітня. Проти хрестоцвітих блішок обробляли інсектицидами у фазі сходів на початку заселення шкідниками. Обприскування інсектицидами проти попелиць проводили у фазі 6-8 листків, за перших ознак заселення шкідниками. Встановлювалась ефективність інсектицидів та їх вплив на формування рівня

урожайності зерна амаранту сорту Харківський 1. Результати досліджень опубліковані - [232].

Таблиця 2.14

Схема досліду 13. «Захист посівів амаранту сорту Харківський 1 від шкідників». (2022 – 2024 рр.)

№ варіанту	Варіант	Діюча речовина, г/л	Норма внесення, л/га
1	Контроль	-	-
2	Бі 58-новий 40 % к. е.	диметоат, 400	1,0
3	Децис-флюкс 25 % к. е.	дельтаметрин, 100	0,15
4	Енжіо 24,7 % к. с.	тіаметоксам, 141 + лямбда-цигалотрин, 106	0,20
5	Ф'юрі 10 % в. е.	зета-циперметрин, 100	0,10
6	Актара 2,5 % в. г.	тіаметоксам, 250	0,15

Дослід 14. (2022 – 2024 рр.) – «Захист посівів амаранту сорту Харківський 1 від рудого іспанського слимака (*Arion lusitanicus*)». Вивчали наступні молюскоциди: Slimax 04GB і Mesurol Alimax 02RB.

Таблиця 2.15

Схема досліду 14. «Захист посівів амаранту сорту Харківський 1 від рудого іспанського слимака (*Arion lusitanicus*)». (2022 – 2024 рр.)

Варіант	Діюча речовина	Норма внесення, кг/га
Контроль	-	-
Slimax 04GB	metaldehyd, 4 %	4,0
Mesurol Alimax 02RB	merkaptodimetur, 2 %	5,0

Встановлювалась ефективність молюскоцидів для захисту рослин амаранту сорту Харківський 1 від пошкодження рудим іспанським слимаком (*Arion lusitanicus*). Облікова площа дослідної ділянки становила 30 м². Повторність досліду — триразова. Розміщення ділянок — систематичне. Строк сівби - третя декада квітня. Сорт — Харківський 1. Вносили препарати за першої появи слимаків, їх сріблястих слідів та наявності пошкоджень рослин.

У наших дослідженнях вивчалися сім сортів амаранту.

Сем. Сорт створено шляхом індивідуального добору із зразка *A. hypochondriacus* (Panishmen). Занесено до Реєстру сортів рослин України у 2002 р. Рослина висотою до 130-200 см, стебло і листя червоні, насіння біле. Волоть червона розлога, довжиною до 47 см. Стійкість до посухи — 7 балів, стійкість до осипання і вилягання — 9 балів. Середньостиглий — 110 днів. Вміст білка в насінні — 19,5 %. Вміст олії — 6,7 %. Врожайність насіння до 30 ц/га. Встановлено протизапальну активність і протективний ефект олії сорту щодо розвитку експериментальної інсулінорезистентності [52].

Лєра. Сорт створено шляхом індивідуального добору із зразку *A. hypochondriacus* (К - 14). Занесено до Реєстру сортів рослин України у 2002 р. Рослини заввишки до 170-220 см. Стебло зелене, листя зелене з червоними прожилками. Волоть довжиною до 54 см, червона, компактна. Насіння біле, маса 1000 насінин — 0,7 г. Стійкість до вилягання — 9 балів, стійкість до осипання — 8 балів. Сорт середньостиглий — 100-105 днів. Вміст білка в насінні 20,6 %, олії — 7,0 %. Урожайність насіння до 50 ц/га. Зерно придатне для виготовлення борошна та олії [52].

Харківський 1. Сорт створено шляхом індивідуального добору із популяції *A. hypochondriacus* (К-7). Занесено до Реєстру сортів рослин України у 2001 р. як лікарський. Рослини заввишки 160-250 см. Стебло і листя зелені, волоть біла компактна довжиною до 60 см. Насіння біле, золотисте, не дає падалиці. Маса 1000 насінин — 0,65 г, вміст олії — до 8 % з високим вмістом сквалену — до 10 %. Вегетаційний період — 110 днів. Зерно використовується для виробництва олії, борошна, шроту. За результатами перевірки лікувальних

властивостей в інституті проблем ендокринної патології ім. В.Я. Данилевського олію насіння амаранту сорту Харківський 1 рекомендовано для подальшого вивчення у медичних закладах з метою можливого клінічного застосування, щоб попередити й лікувати цукровий діабет другого типу і виразку шлунку. Врожайність насіння до 50 ц/га [52].

Студентський. Створено шляхом індивідуального добору із зразка *A. hypochondriacus* (К- 1267). Занесено до Реєстру сортів рослин України у 2009 р. Середньостиглий, вегетаційний період 105 днів. Рослини висотою до 150-200 см. Стебло руде, листя зелене з рудими прожилками. Волоть довжиною до 40-50 см, руда, компактна. Насіння біле, маса 1000 насінин - 0,8 г. Стійкість до вилягання 9 балів, стійкість до осипання 9 балів. Сорт середньостиглий-100-125 днів. Вміст олії становить 6-10 %, а вміст сквалену в олії 6-8 %. Вміст білка в насінні 18,6 %. Урожайність насіння до 30 ц/га [52].

Ацтек. Занесено до Реєстру сортів рослин України у 1998 р. Інститут кормів Національної академії аграрних наук України. Сорт зерновий, кормовий, середньостиглий. Вегетаційний період до повної стиглості насіння становить 110-120 днів. У висоту рослина досягає 150 сантиметрів. Довжина волоті з світло-коричневим насінням становить 45-50 см. Сама волоть червона, і такого ж кольору стебло амаранту. Листя рослини даного виду має червоно-зелене забарвлення. Характеризується високим рівнем урожайності зерна і зеленої маси. Урожай насіння - 30-40 ц/га. Вміст у сухій речовині сирого протеїну - 17,8 %. Вміст олії 8,5 %, сквалену в олії 7 %. Стійки до осипання. Зерно йде для виготовлення олії і для отримання борошна, яке, в свою чергу — для випічки хлібобулочних виробів. Придатний для комбайнового збирання [52].

Ультра. Занесено до реєстру сортів рослин України у 1998 році. *A. hybridus*. Ранньостиглий - 90-95 днів. Вегетаційний період на півдні України 70-75 днів, у північних областях 80-90 днів. Рослини заввишки 100-200 см. За іншими даними низькорослий [28]. Листя зелене, опушення відсутнє. Суцвіття - напівстисла компактна волоть, світло-зелена, при дозріванні жовтого забарвлення, завдовжки до 70 см. Насіння світло-жовте, біле не дає падалиці.

Сорт стійкий до осипання. Урожайність насіння – до 30 ц/га. Вміст білка відносно низький – 17-17,5 %. Вміст олії у насінні до 5 %. Уміст сквалену в олії 7-8 %. В холодніших умовах знижує врожайність [52].

Поліщук. Занесено до Реєстру сортів рослин України у 1999 р., середньостиглий. Оригінатор Інститут сільського господарства Полісся. У висоту рослина досягає 150 сантиметрів. Довжина волоті з темно-коричневим насінням становить 45-50 см. Сама волоть червона, і такого ж кольору стебло амаранту. Листя рослини даного виду має зелене забарвлення з червоними прожилками. Урожайність зерна до 3 т/га. Характеризується низькою стійкістю до осипання та високою – до посухи [52].

Як контрольний сорт використовували сорт Ультра, селекції ХНАУ.

Загальна площа ділянки становила 30 м², облікова – 20 м². Дослідження проводились у трьох повтореннях. Розміщення ділянок систематичне.

Технологія вирощування у досліді була такою. Попередник амаранту була озима пшениця. Після збирання попередника поле дискували і проводили в жовтні зяблеву оранку. Навесні обробіток ґрунту полягав у закритті вологи, 2 культивацій та передпосівного обробітку ґрунту за допомогою комбінованого знаряддя Компактор. Вносили мінеральні добрива згідно схеми досліді. Фосфорні та калійні добрива вносили восени під оранку. Азотні навесні під передпосівний обробіток ґрунту. Сіяли широкорядним способом з міжряддями 45 см на глибину 1 см. Використовували Сівалку Хорш Пронто 4 ДС. Строк сівби 25 квітня, норма висіву 0,8 кг/га. Для боротьби з бур'янами використовували міжрядні обробітки та гербіцид Фюзилад Форте 150 ЕС к. е. (1,0 л/га).

Скошування амаранту проводили у фазі повної стиглості насіння в нижній і середній частинах волоті, після підсихання амарант обмолочували.

Польові дослідження проводили в умовах Західного Лісостепу України, впродовж 2019 – 2024 років, відповідно до загальноприйнятих методик [122, 123, 124, 125, 126, 127]. Лабораторні дослідження амаранту проводили відповідно ДСТУ 7213:2011 (Зерно амаранту. Технічні умови) в якому вказано методи

контролювання якості зерна призначеного для використання на продовольчі та непродовольчі потреби [56]. Супутні аналізи зразків ґрунту та рослинного матеріалу проводили за наступними методиками:

1. Перед закладанням польових дослідів відбирались зразки ґрунту і визначався вміст у шарі 0-20 см: легкогідролізованого азоту за Тюрінім-Коновою, рухомих форм фосфору і калію за Чириковим, вміст гумусу за Тюрінім, рН - потенціометричним методом [54].

2. Фенологічні спостереження за ростом і розвитком рослин проводились з встановленням фази сходів (ВВСН 10), бутонізації (ВВСН 59), цвітіння (ВВСН 65), дозрівання (ВВСН 85), за «Методикою державного сортовипробування сільськогосподарських культур» [122, 123, 126].

3. Польову схожість, густоту рослин перед збиранням визначали на закріплених ділянках площею 1 м².

4. Відбір рослинних зразків амаранту проводили у фазі викидання волоті під час обліку врожаю з подальшим визначенням вмісту вологи та сухої речовини термогравіметричним методом (ДСТУ ISO 6496:2005). [60].

5. Відбір снопового матеріалу проводили за один-два дні до початку збирання врожаю з площі 0,25 м² у чотирьох місцях ділянки. Структурний аналіз урожаю проводився за методикою державного сортовипробування сільськогосподарських культур [122].

6. Проби зерна амаранту відбирали для лабораторних аналізів згідно ДСТУ ISO 13690:2003 [58].

7. Натуру зерна визначали за допомогою літрової пурки(ДСТУ 4233:2003) [55].

8. Для визначення маси 1000 зерен дві проби по 500 зерен зважували згідно з методикою проведення експертизи сортів рослин групи зернових, круп'яних та зернобобових на придатність до поширення в Україні [125].

9. Облік урожаю зерна проводили методом поділянкового обмолоту амаранту комбайном Сампо 500 з наступною очисткою зерна і перерахунком на 100 % чистоту та 14 % вологість.

10. Вміст загального азоту, фосфору і калію визначали в одній наважці після мокрого озолення за Гінзбургом з наступним визначанням: азоту – за К'єльдалем (ДСТУ ISO 5983:2003) [59], фосфору – спектрометричним методом (ДСТУ ISO 6491:2004), калію – на полум'яному фотометрі (ДСТУ ISO 7485:2003) [62].

11. Вміст жирних кислот визначали методом рідинної хроматографії на аналізаторі Хромос-301.

12. Вміст білка – методом К'єльдаля (ДСТУ ISO 5983:2003) [59].

13. Вміст крохмалю – поляриметричним методом (за Еверсом).

14. Вміст амінокислот – методом іонообмінної рідинної хроматографії на аналізаторі амінокислот Т-339, вуглеводів – за допомогою цукроміра.

15. Аналіз складу сухої речовини зерна за такими показниками: вміст сирого протеїну за методом К'єльдаля або збір білка з одиниці площі.

16. Загальний вміст олії в зерні амаранту визначали за масою сухого знежиреного залишку з використанням стандартизованого еталонного методу в апараті Сокслета шляхом екстракції на водяній бані протягом 8-10 год. Як органічний розчинник застосовували петролейний ефір з температурою кипіння 40–65°C (ДСТУ 7577:2014) [57].

17. Кількісну оцінку спектра жирних кислот проводили методом нормування площин піків етилованих похідних та визначали їхній склад у відсотках (ГОСТ 30418-96) [63].

18. Вміст сквалену визначали газохроматографічним методом (ДСТУ ISO 6799-2002) [61].

19. Лабораторні дослідження ґрунтових проб на вміст важких металів проводилися за допомогою буферної амонійно-ацетатної витяжки з рН 4,8, використовуючи метод атомно-абсорбційної спектрометрії відповідно до чинних нормативних документів:

цинк – ДСТУ 4770.2:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук цинку в ґрунті. Київ, 2007. 14 с.;

кадмій – ДСТУ 4770.3:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук кадмію в ґрунті. Київ, 2007. 14 с.;

мідь – ДСТУ 4770.6:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук міді в ґрунті. Київ, 2007. 14 с.

20. Підготовка рослинних зразків амаранту для аналізу на вміст важких металів проводилася за методом сухої мінералізації відповідно до стандартів ДСТУ 7670:2014. Корми, комбікорми, комбікормова сировина. Атомно-абсорбційний метод визначення вмісту міді, свинцю, цинку та кадмію. Київ, 2015 та ДСТУ 8123:2015. Корми для тварин. Визначення вмісту елементів методом атомно-емісійної спектrometerії з індуктивно зв'язаною плазмою. Київ, 2016.

21. Масову концентрацію важких металів у продукції амаранту визначали за допомогою атомно-абсорбційного методу на спектрофотометрії С115-1М відповідно до ГОСТ 30178-96. Сировина та продукти харчові. Атомно-абсорбційний метод визначення токсичних елементів. 1996.

22. Визначення вмісту радіонуклідів за ДСТУ ISO 18589-3:2009. Вимірювання радіоактивності в навколишньому середовищі. Ґрунт. Частина 3. Методи вимірювання гамма-випромінюючих радіонуклідів. Київ, 2010.

23. Облік забур'яненості проводили в третій декаді липня в період формування найбільшої маси бур'янів. Характер забур'янення посіву визначали співвідношення між головними біологічними групами бур'янів, а ступінь забур'янення – кількість бур'янів (шт/м²) і їх маса (г/м²).

24. Посіви амаранту обстежували на заселеність шкідниками в умовах дослідного поля Львівського національного університету природокористування за загальноприйнятими методиками [127].

25. Проти хрестоцвітих блішок обробляли інсектицидами у фазі сходів на початку заселення шкідниками.

26. Обприскування інсектицидами проти попелиць проводили у фазі 6-8 листків, на початку заселення.

27. Застосування препаратів проти слимаків проводили у вечірні години, шляхом розсівання. Обліки та ефективність дії препарату визначали методом

аналізу поверхневого шару ґрунту (0-5 см) у радіусі 20 см навколо рослин, які вони пошкоджують, та підрахунком чисельності та ступеня пошкодження рослин за 100-бальною системою. Для обліку заселення попелиці використовували 6-бальну шкалу [127].

28. Обліки ураження рослин збудниками хвороб проводили у фазі бутонізації рослин амаранту: за перших проявів, перед обприскуванням, на 3-й, 7-й і 15-й день після обприскування фунгіцидами, використовуючи 5-бальну шкалу [127].

29. Економічну ефективність досліджуваних елементів технології вирощування амаранту оцінювали за загальноприйнятою методикою – за витратами на 1 га, прибутком, собівартістю 1 ц зерна і рівнем рентабельності.

30. Статистичну обробку даних проводили за допомогою програм Microsoft Excel і «Statistica 13.0». Статистична обробка даних проводили дисперсійним аналізом (ANOVA) за допомогою програми «Statistica 13.0». Якісну оцінку коефіцієнтів кореляції проводили за шкалою Чеддока. В залежності від значень коефіцієнта кореляції зв'язок може мати такі оцінки: 0,1-0,3 – слабкий; 0,3-0,5 – помітний; 0,5-0,7 – помірний; 0,7-0,9 – високий; 0,9-1,0 – вельми високий.

Висновки до розділу 2

1. Дослідження проводили у зоні Лісостепу західного України на темно-сірому опідзоленому легкосуглинковому ґрунті, який характеризувався задовільними агрохімічними показниками протягом періоду досліджень за вмістом основних елементів живлення, що створювало сприятливі умови для росту й розвитку амаранту.

2. Морфологічні особливості темно-сірих опідзолених ґрунтів, зокрема глибока гумусованість профілю (40–50 см), грубопилувато-легкосуглинковий механічний склад, підвищена вологоємність, оптимальний водно-повітряний режим та залягання на добре дренованих вододілах, створюють сприятливі

умови для формування потужної кореневої системи амаранту та ефективного використання рослинами поживних речовин і вологи з глибших шарів ґрунту.

3. Комплексна оцінка ґрунтово-кліматичних умов зони западного Лісостепу України підтверджує перспективність вирощування амаранту в цьому регіоні за умови дотримання адаптованих технологічних елементів, що враховують високу чутливість культури до надмірного зволоження на початкових етапах розвитку, потребу в підвищених температурах протягом вегетації та здатність ефективно використовувати родючість ґрунту завдяки потужній кореневій системі і високій посухостійкості.

4. Агрокліматичні умови західного Лісостепу протягом вегетаційних періодів 2019–2024 років характеризувалися значною мінливістю температурного режиму та режиму зволоження. Середньорічні температури перевищували багаторічну норму на $0,2\text{--}2,8^{\circ}\text{C}$, при цьому найвищі показники зафіксовано у 2024 році ($+2,8^{\circ}\text{C}$), а найближчі до норми – у 2021 році ($+0,2^{\circ}\text{C}$). Літні місяці характеризувалися переважно теплими умовами з перевищенням норми на $1,5\text{--}4,2^{\circ}\text{C}$, що відповідало біологічним особливостям амаранту як C4-рослини.

5. Режим зволоження виявився найбільш варіабельним чинником. Найсприятливішими для реалізації продуктивного потенціалу амаранту виявилися умови 2022 та 2024 років, які поєднували підвищений температурний режим та достатнє зволоження, тоді як найменш придатними були умови 2019 і 2020 роки з надмірним зволоженням на початку вегетації амаранту.

6. Аналіз температурних показників засвідчив загальну тенденцію до потепління: середньорічні температури перевищували багаторічну норму на $0,2\text{--}2,8^{\circ}\text{C}$, при цьому найвищі показники зафіксовано у 2024 році ($+2,8^{\circ}\text{C}$). Критично важливі для формування врожайності амаранту літні місяці характеризувалися переважно теплими умовами з перевищенням норми на $1,5\text{--}4,2^{\circ}\text{C}$, що відповідало біологічним особливостям культури з типом фотосинтезу C4 з підвищеними вимогами до температурного режиму.

7. Встановлено, що амарант як посухостійка культура з високою осмотичною адаптацією найефективніше використовує агрокліматичні ресурси Лісостепу західного в роки з теплим вегетаційним періодом та помірним зволоженням, демонструючи при цьому стійкість до короткочасних посух завдяки потужній кореневій системі та здатності контролювати транспірацію.

За матеріалами даного розділу автором опубліковано наукові праці [103 – 107, 110, 167 - 207].

РОЗДІЛ 3.

ВПЛИВ ОСНОВНИХ АСПЕКТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ НА ОСОБЛИВОСТІ РОСТУ І РОЗВИТКУ РОСЛИН АМАРАНТУ

3.1 Вплив гідротермічних умов на проходження фаз вегетації сортів амаранту залежно від рівнів удобрення

Згідно спостережень Кривого М. М. і ін., амарант характеризується різною інтенсивністю ростових процесів. Спочатку він росте повільно, а з фази бутонізації рослини переходять до інтенсивного росту [94]. Найбільший приріст зеленої маси відбувся від фази викидання волоті до цвітіння. З початком фази цвітіння і впродовж всієї фази молочної стиглості, яка триває 30 днів, настає період повільного росту. Про це свідчить висота рослин амаранту: у фазі викидання волоті вона становила 26 см, впродовж фази бутонізації змінювалась в межах 42-73 см, у фазі цвітіння - 90-101 см, у фазі молочної стиглості 115 см, воскової – 123 см.

За даними Кононенко Л.М., [90], на проходження фаз вегетації впливали строки сівби, а саме, пізні строки прискорювали їх. Період вегетативного розвитку залежно від строку сівби становив у сорту Харківський 1 44-63 дні, у сорту Ацтек 41-59 днів. Фаза бутонізації тривала 18-28 днів. Від цвітіння до досягання проходило 15-25 днів, а від сходів до збирання 99-133 дні.

Дослідженнями встановлено, що повні сходи амаранту волотистого з глибини 2 і 4 см на фоні застосування допосівного прикочування, в середньому за роки досліджень, відмічено відповідно на 7 і 10-у добу після сівби і потребувало для цього суми ефективних температур відповідно 70,9 і 92,3°C [87].

У результаті досліджень виявилось, що початок бутонізації припадає на середину липня, початок цвітіння - кінець липня і початок серпня, масове цвітіння - середина серпня, кінець цвітіння припадає, в основному, на початок вересня. Масове цвітіння настає через 85-90 днів від сівби. Від початку сходів до плодоношення минає 90-95 днів [96].

За даними Куцели О. Я. і н. тривалість фази цвітіння становить 30-40 днів. Сходи рослин появляються через 10-12 днів після сівби [96].

Дослідники відмічають такі фази росту та розвитку – сходи, ріст стебла (відростання), викидання волоті, цвітіння, молочна, воскова і повна стиглість. Сходи у сприятливих умовах через 4-5 днів, у менш сприятливих – через 10-12 днів. Фаза відростання триває 25-35 днів. Викидання волоті – 8-12 днів. Фаза цвітіння займає 27-35 днів. У широкорядних посівах (70 см) всі міжфазні періоди були коротші на 3-5 днів, порівняно з рядковим способом сівби. Амарант відноситься до рослин короткого світлового дня, і в умовах довгого світлового дня він забезпечує інтенсивне наростання фітомаси[417].

Проходження фаз вегетації амаранту в проведених дослідженнях змінювалось залежно від норм внесення мінеральних добрив і досліджуваних сортів (табл. 3.1 – табл. 3.10).

Таблиця 3.1

**Вплив норм добрив на проходження фаз росту і розвитку сорту
амаранту Ультра, 2020-2021 рр.**

Рівень удобрєння	Міжфазний період, діб								Тривалість вегетаційног о періоду	
	сівба –поява сходів (ВВСН 00– 10)		сходи – бутонізаці я (ВВСН 11–50)		бутонізація –цвітіння (ВВСН 51– 60)		цвітіння – повна стиглість (ВВСН 61–97)			
	Роки									
	2020	2021	2020	2021	2020	2021	2020	2021	2020	2021
контроль	21	14	38	37	31	30	28	33	97	100
N ₄₀ P ₂₀ K ₄₀	21	14	39	38	31	30	29	34	99	102
N ₈₀ P ₄₀ K ₈₀	21	14	39	38	32	31	30	35	101	104
N ₁₂₀ P ₄₀ K ₈₀	21	14	40	39	34	31	32	36	106	106
N ₁₆₀ P ₈₀ K ₁₂₀	21	14	41	40	34	33	33	37	108	110
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₂₀	21	14	43	41	34	33	34	39	111	113
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₆₀	21	14	43	41	34	33	34	39	111	113

Строк сівби 25 квітня 2020 р.

Строк сівби 4 травня 2021 р.

Добрива не вплинули на темпи проростання. На тривалість періоду сівба-сходи (ВВСН 01-10) сильний вплив мали кількість опадів і температура повітря, коефіцієнт кореляції становив $r = 0,71$. Дану закономірність достовірно описують рівняння регресії:

$$Y = -7,522 + 2,171X_1 + 0,005 X_2;$$

де, Y - тривалість періоду сівба-сходи, діб (ВВСН 01-10)

X_1 - температура повітря, °C

X_2 - опади, мм

Коефіцієнт детермінації $R^2=0,51$

За результатами кореляційно-регресійного аналізу встановлено вельми сильний вплив норм удобрення і сортових особливостей на тривалість міжфазних періодів і тривалість вегетації рослин амаранту. Дану закономірність достовірно описують рівняння регресії (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Кореляційно-регресійна залежність між тривалістю міжфазних періодів і періоду вегетації (діб) (Y), рівнем удобрення (X_1) і сортом (X_2)

Показник	Рівняння регресії	Коефіцієнт кореляції	Коефіцієнт детермінації, %
ВВСН 11-50	$Y=31,1423+0,946X_1 + 4,571X_2$	0,93	0,86
ВВСН 51-60	$Y=28,691+0,720X_1 + 1,964X_2$	0,77	0,60
ВВСН 61-89(97)	$Y=20,143+1,357 X_1 + 6,678 X_2$	0,88	0,77
ВВСН 11-89(97)	$Y=79,976+3,024 X_1 + 13,214 X_2$	0,97	0,95

Сходи у 2020 році появились одночасно на всіх фонах через 21 день, оскільки середньомісячна температура у травні була найнижчою в роки досліджень, і становила 10,8°C (рис. 3.1, рис. 3.2).

**Фенологічні спостереження за ростом і розвитком рослин амаранту сорту Ультра залежно від рівнів удобрення,
2020 р.**

Рівень удобрення	Сходи ВВСН 10	1 п. спр. листіків ВВСН 11	2-3 п. спр. листіків ВВСН 13	Бутонізація ВВСН 50- 59	Цвітіння (ВВСН 60- 69)	Розвиток насіння ВВСН 71	Достигання (ВВСН 71-89)			Триваліс ть вегетації
							молочна ВВСН 73	воскова ВВСН 77	Повна стиглість ВВСН 89	
контроль	16.05	21.05	31.05	22.06	23.07	28.07	3.08	13.08	20.08	97
N ₄₀ P ₂₀ K ₄₀	16.05	21.05	5.06	23.06	24.07	28.07	4.08	13.08	22.08	99
N ₈₀ P ₄₀ K ₈₀	16.05	21.05	5.06	23.06	25.07	29.07	5.08	13.08	24.08	101
N ₁₂₀ P ₄₀ K ₈₀	16.05	20.05	3.06	24.06	28.07	29.07	5.08	16.08	29.08	106
N ₁₆₀ P ₈₀ K ₁₂₀	16.05	20.05	2.06	25.06	29.07	3.08	10.08	18.08	31.08	108
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₂₀	16.05	20.05	1.06	27.06	31.07	7.08	14.08	20.08	3.09	111
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₆₀	16.05	20.05	1.06	27.06	31.07	7.08	14.08	24.08	3.09	111

Фаза бутонізації настала через 38 днів після сходів, на два дні пізніше, через 40 днів, ця фаза була за норми добрив $N_{120}P_{40}K_{80}$, а за максимального рівня удобрення $N_{200}P_{80}K_{160}$ – 43 дні (табл. 3.1).

До цвітіння на контрольному варіанті рослини перейшли через 31 день після фази бутонізації. На варіанті з внесенням $N_{120}P_{40}K_{80}$ рослини зацвіли пізніше, 28 липня (табл. 3.3). Найпізніше у фазу масового цвітіння вступили варіанти з рівнем удобрення $N_{160}P_{80}K_{120}$, $N_{200}P_{80}K_{120}$, $N_{200}P_{80}K_{160}$ – 31 липня, через 34 дні. Відносно більша тривалість міжфазного періоду сходи-бутонізація у 2020 році пояснюється нижчими температурами, порівняно з іншими роками. Також у перший рік досліджень у травні і червні випала надмірна кількість опадів (рис. 3.1, рис. 3.2).

На час настання фази дозрівання добрива мали сильний вплив. Якщо на контролі без добрив амарант достиг найшвидше 20 серпня, то за внесення добрив у нормі $N_{160}P_{80}K_{120}$ фазу досягання діагностували 31 серпня, а за максимальної норми внесення $N_{200}P_{80}K_{160}$ – 3 вересня. Тривалість вегетаційного періоду на контролі становила 97 дні, а на варіанті з внесенням $N_{120}P_{40}K_{80}$ – 106 днів, що на 9 днів більше. У 2020 році прискорення дозрівання відбулось внаслідок зменшення суми опадів у серпні (табл. 3.3).

У 2021 році сіяли на 9 днів пізніше, ніж у 2020 році. Проте внаслідок вищої температури повітря у травні в 2021 році ($12,7^{\circ}\text{C}$) порівняно з 2020 роком ($10,8^{\circ}\text{C}$) на $1,9^{\circ}\text{C}$, сходи з'явились на 14 день – 18 травня (табл. 3.1; табл. 3.4). Температура в червні була однаковою в ці роки, тому темпи росту теж майже не відрізнялись (рис. 3.1, рис. 3.2).

Фаза цвітіння у 2021 році настала залежно від норми добрив у період з 23 липня по 30 липня. Достигли посіви і були придатні до збирання 25 серпня – 7 вересня, тобто майже в ті ж терміни, що і в 2020 році. Це можна пояснити тим, що у 2021 році був жаркіший липень ($21,7^{\circ}\text{C}$), та дещо прохолодніший серпень ($17,3^{\circ}\text{C}$) відносно інших років досліджень. Сума опадів у травні, червні та липні 2021 року була значно меншою, порівняно з 2020 роком (рис. 3.1, рис. 3.2), тому

збільшення суми опадів у серпні до 127,9 мм після відносно сухого липня (47,1 мм) не спричинило негативних наслідків як для росту так і досягання амаранту.

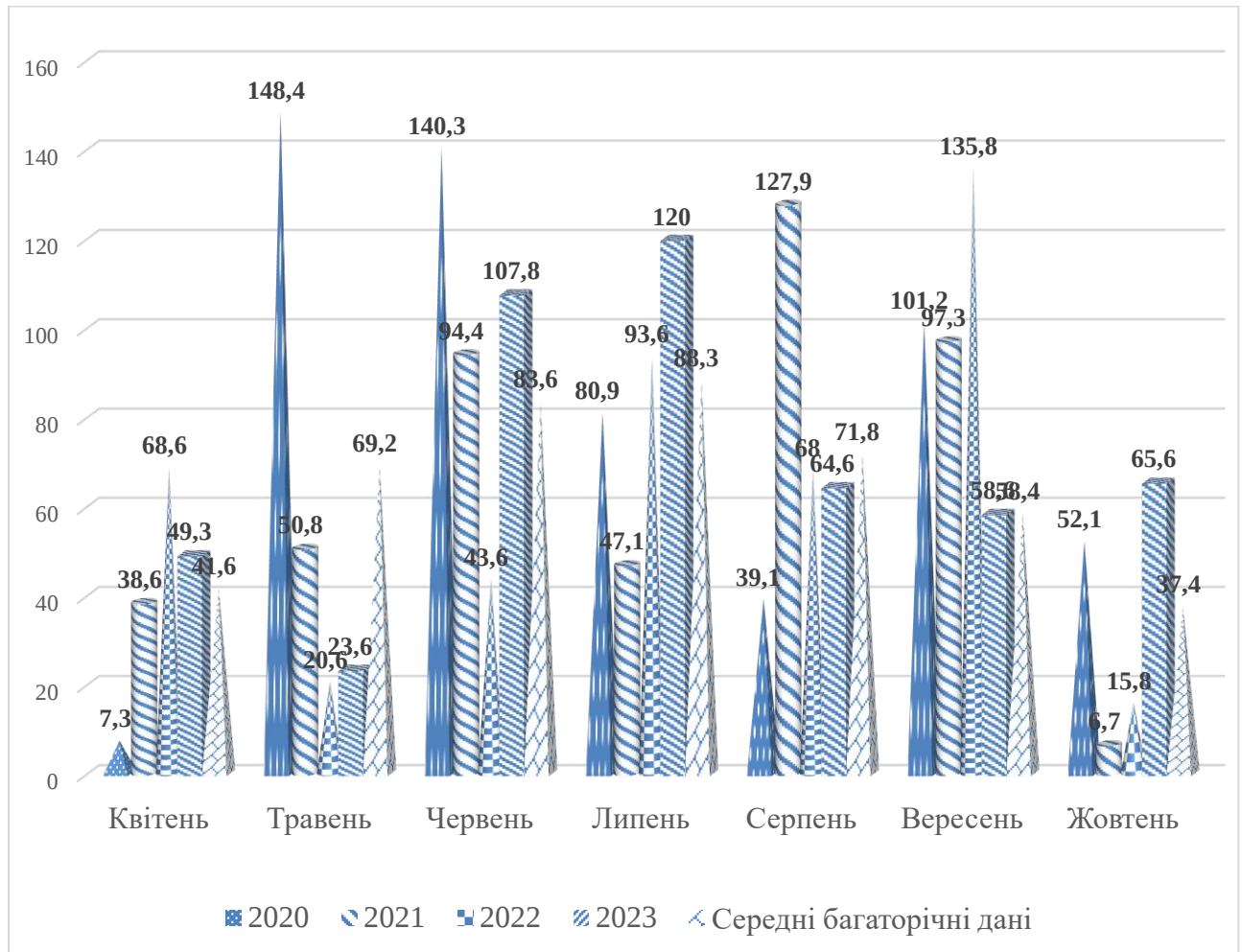


Рис. 3.1. Середньомісячна кількість опадів, мм, 2020 – 2023 рр.

Вплив норм добрив на проходження фаз вегетації рослин амаранту та тривалість міжфазних періодів у 2021 році був аналогічним до 2020 року. Мінеральні добрива не впливали на строки появи сходів. Фази бутонізації та цвітіння настали на 2-4 дні пізніше на варіантах з внесенням добрив. Підвищена температура повітря у липні (21,7 °C) сприяла скороченню на 1-3 дні тривалості періоду бутонізація-цвітіння (ВВСН 51–60) залежно від норми добрив і року досліджень (табл. 3.4). Це підтверджується результатами статистичного аналізу: встановлено помітний вплив температури повітря на проходження періоду бутонізація-цвітіння (ВВСН 51–60), коефіцієнт кореляції $r = 53$.

Таблиця 3.4

**Фенологічні спостереження за ростом і розвитком рослин амаранту сорту Ультра залежно від рівнів удобрення,
2021 р.**

Рівень удобрення	Сходи (BBCH 10)	1 п. spr. листіків (BBCH 11)	2-3 п. spr. листіків (BBCH 13)	Бутонізація (BBCH 50- 59)	Цвітіння (BBCH 60- 69)	Розвиток насіння BBCH 71	Достигання (BBCH 71- 89)			Триваліс ть вегетації
							молочн а BBCH 73	воскова BBCH 77	Повна стигліст ь BBCH 89	
контроль	18.05	24.05	10.06	23.06	23.07	2.08	10.08	18.08	25.08	100
N ₄₀ P ₂₀ K ₄₀	18.05	23.05	6.06	24.06	24.07	3.08	10.08	18.08	27.08	102
N ₈₀ P ₄₀ K ₈₀	18.05	23.05	6.06	24.06	25.07	4.08	11.08	19.08	29.08	104
N ₁₂₀ P ₄₀ K ₈₀	18.05	22.05	5.06	25.06	26.07	4.08	11.08	21.08	31.08	106
N ₁₆₀ P ₈₀ K ₁₂₀	18.05	22.05	4.06	26.06	29.07	7.08	13.08	24.08	4.09	110
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₂₀	18.05	22.05	4.06	27.06	30.07	8.08	15.08	28.08	7.09	113
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₆₀	18.05	22.05	4.06	27.06	30.07	8.08	15.08	28.08	7.09	113

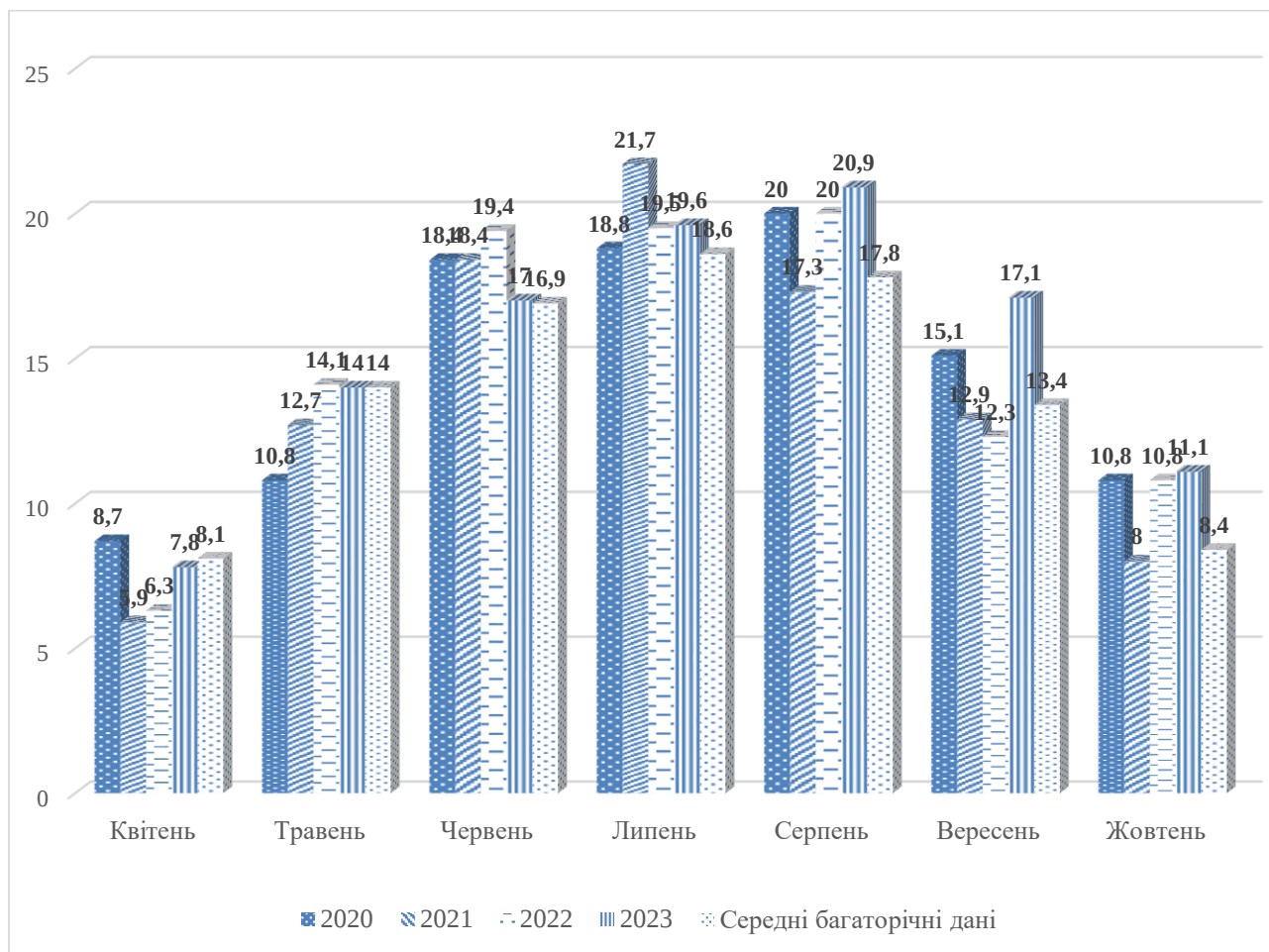


Рис. 3.2. Середньомісячна температура, °С, 2020 – 2023 рр.

Найбільше норми добрив вплинули на настання фази дозрівання та тривалість періоду вегетації. Коефіцієнт кореляції між рівнем удобрення, сортом та тривалістю періоду цвітіння-дозрівання (ВВСН 61-89(97)) і тривалістю вегетації відповідно становив $r = 0,88$ і $r = 0,97$ (табл. 3.2).

Вищі норми добрив, особливо азотні, подовжують вегетацію. Різниця у настанні фази дозрівання становила до 13 днів. Тривалість вегетації амаранту сорту Ультра становила 100 днів на контролі без внесення добрив і збільшувалась до 106 днів на варіанті з внесенням норми добрив - $N_{120}P_{40}K_{80}$, а за максимальної норми добрив $N_{200}P_{80}K_{160}$ – 113 дні.

У 2022 році фенологічні спостереження проводили на двох сортах Лера і Ультра (табл. 3.5, табл. 3.6, табл. 3.7, табл. 3.8, табл. 3.9).

**Фенологічні спостереження за ростом та розвитком сорту амаранту
Ультра, 2022-2023 рр.**

Рівень удобрєння	Міжфазний період, діб								Тривалість вегетаційного періоду	
	сівба – поява сходів (ВВСН 00– 10)		сходи – бутонізація (ВВСН 11– 50)		бутонізація – цвітіння (ВВСН 51– 60)		цвітіння – повна стиглість (ВВСН 61– 97)			
Роки										
2022	2023	2022	2023	2022	2023	2022	2023	2022	2023	
контроль	15	17	36	37	32	33	28	27	96	97
N ₄₀ P ₂₀ K ₄₀	15	17	37	39	33	33	29	28	99	100
N ₈₀ P ₄₀ K ₈₀	15	17	37	39	34	33	30	30	101	102
N ₁₂₀ P ₄₀ K ₈₀	15	17	38	40	34	35	32	30	104	105
N ₁₆₀ P ₈₀ K ₁₂₀	15	17	39	41	35	36	33	31	107	108
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₂₀	15	17	41	42	36	39	34	32	111	113
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₆₀	15	17	41	42	36	39	34	32	111	113

Строк сівби 1 травня 2022 р.

Строк сівби 21 квітня 2023 р.

За результатами статистичного аналізу встановлено вплив сортових особливостей на тривалість міжфазного періоду сходи-бутонізація (ВВСН 11-50), коефіцієнт кореляції становив $r = 0,70$, що свідчить про помірний зв'язок. Також встановлено помітний зв'язок між сортовими особливостями амаранту і тривалістю міжфазного періоду цвітіння-повна стиглість (ВВСН 61-89(97)), коефіцієнт кореляції становив $r = 0,42$.

**Фенологічні спостереження за ростом і розвитком рослин амаранту сорту Ультра залежно від рівнів удобрення,
2022 р.**

Рівень удобрення	Сходи (ВВСН 10)	1 п. спр. листіків (ВВСН 11)	2-3 п. спр. листіків (ВВСН 13)	Бутонізац ія (ВВСН 52-59)	Цвітіння (ВВСН 60-69)	Розвиток насіння ВВСН 71	Достигання (ВВСН 71-89)			Триваліс ть вегетації
							молочна ВВСН 73	воскова ВВСН 77	Повна стиглість ВВСН 89	
контроль	16.05	21.05	7.06	20.06	22.07	29.07	2.08	10.08	19.08	96
N ₄₀ P ₂₀ K ₄₀	16.05	21.05	3.06	21.06	24.07	30.07	3.08	12.08	22.08	99
N ₈₀ P ₄₀ K ₈₀	16.05	20.05	3.06	21.06	25.07	30.07	4.08	14.08	24.08	101
N ₁₂₀ P ₄₀ K ₈₀	16.05	20.05	2.06	22.06	26.07	31.07	6.08	16.08	27.08	104
N ₁₆₀ P ₈₀ K ₁₂₀	16.05	20.05	1.06	23.06	28.07	1.08	8.08	18.08	30.08	107
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₂₀	16.05	20.05	1.06	25.06	31.07	1.08	9.08	20.08	3.09	111
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₆₀	16.05	20.05	1.06	25.06	31.07	1.08	9.08	20.08	3.09	111

Графічна модель (рис. 3.3.) демонструє, що площа регресії тривалості періоду вегетації рослин амаранту збільшується із збільшенням рівнів удобрення залежно від сорту. Множинний коефіцієнт кореляції $r = 0,98$ свідчить про майже прямий зв'язок між сортом, нормою добрив і тривалістю періоду вегетації.

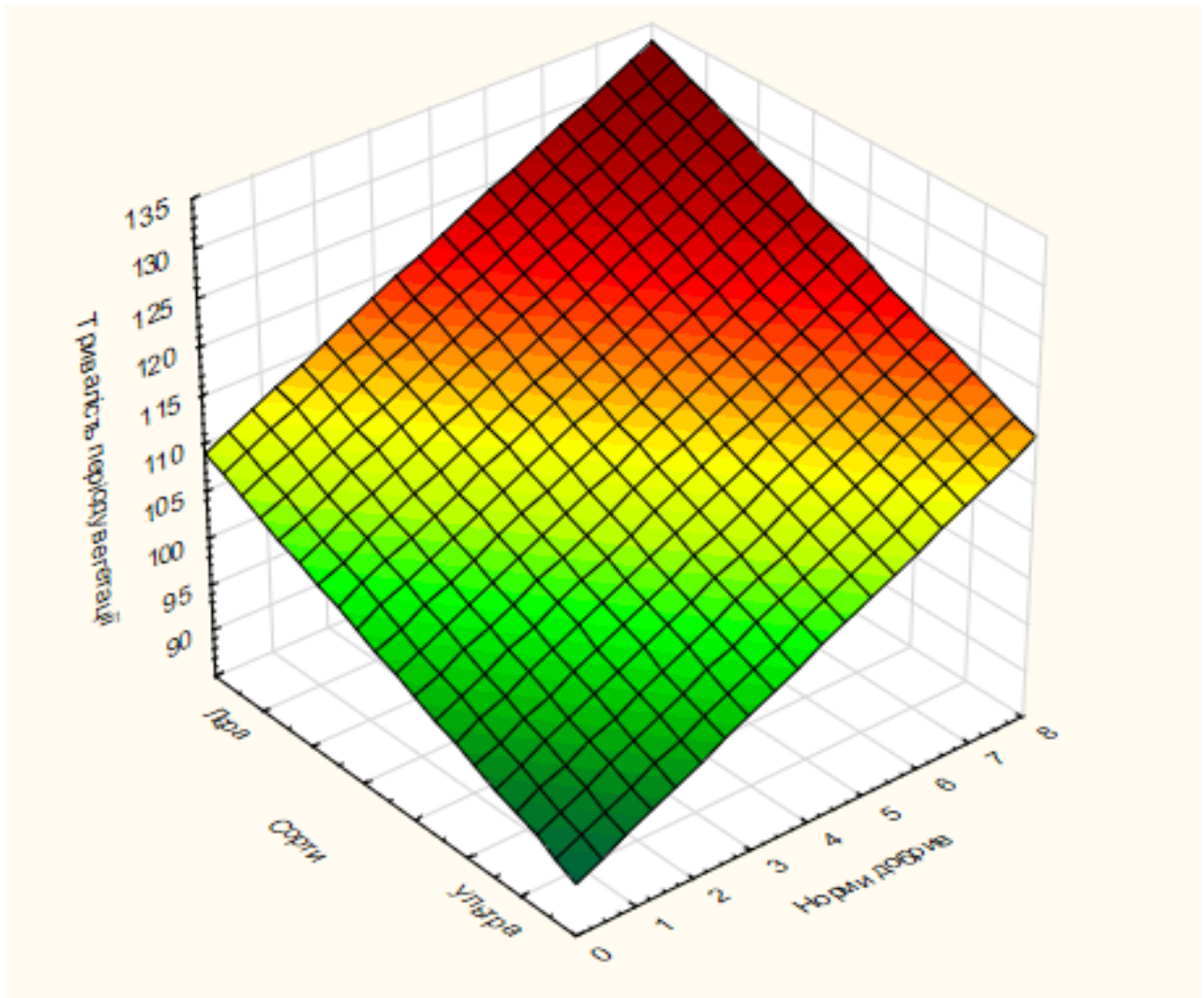


Рис. 3.3. Статистична модель залежності між тривалістю вегетації, сортами амаранту і нормами добрив.

Дану залежність достовірно демонструє рівняння регресії (табл. 3.2)

За сівби 1 травня рослини зійшли на всіх варіантах одночасно і не залежали від сорту і добрив (табл. 3.5 - табл. 3.10).

**Фенологічні спостереження за ростом і розвитком рослин амаранту сорту Ультра залежно від рівнів удобрення,
2023 р.**

Рівень удобрення	Сходи (ВВСН 10)	1 п. спр. листіків (ВВСН 11)	2-3 п. спр. листіків (ВВСН 13)	Бутонізація (ВВСН 52-59)	Цвітіння (ВВСН 60-69)	Розвиток насіння ВВСН 71	Достигання (ВВСН 71-89)			Тривалість вегетації
							молочна ВВСН 73	восков а ВВСН 77	Повна стиглість ВВСН 89	
контроль	8.05	13.05	1.06	13.06	16.07	23.07	28.07	4.08	12.08	97
N ₄₀ P ₂₀ K ₄₀	8.05	12.05	25.05	15.06	18.07	25.07	30.08	7.08	15.08	100
N ₈₀ P ₄₀ K ₈₀	8.05	12.05	25.05	15.06	18.07	27.07	31.08	8.08	17.08	102
N ₁₂₀ P ₄₀ K ₈₀	8.05	11.05	24.05	16.06	21.07	29.07	2.08	10.08	20.08	105
N ₁₆₀ P ₈₀ K ₁₂₀	8.05	11.05	23.05	17.06	23.07	30.07	3.08	11.08	23.08	108
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₂₀	8.05	11.05	22.05	18.06	27.07	31.07	5.08	16.08	28.08	113
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₆₀	8.05	11.05	22.05	18.06	27.07	31.07	5.08	16.08	28.08	113

**Фенологічні спостереження за ростом та розвитком сорту амаранту
Лєра, 2022-2023 рр.**

Рівень удобрення	Міжфазний період, діб								Тривалість вегетаційно го періоду	
	сівба –поява сходів (ВВСН 00–10)		сходи – бутонізація (ВВСН 11– 50)		бутонізація – цвітіння (ВВСН 51– 60)		цвітіння – повна стиглість (ВВСН 61– 89)			
	Роки									
	2022	2023	2022	2023	2022	2023	2022	2023	2022	2023
контроль	15	17	40	43	33	34	34	32	107	109
N ₄₀ P ₂₀ K ₄₀	15	17	40	43	34	35	35	33	109	111
N ₈₀ P ₄₀ K ₈₀	15	17	41	43	34	35	37	36	112	114
N ₁₂₀ P ₄₀ K ₈₀	15	17	42	45	35	36	41	39	118	120
N ₁₆₀ P ₈₀ K ₁₂₀	15	17	43	47	36	37	42	42	121	126
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₂₀	15	17	47	48	36	38	44	43	127	129
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₆₀	15	17	47	48	36	38	44	43	127	129

Строк сівби 1 травня 2022 р.

Строк сівби 21 квітня 2023 р.

Починаючи з фази бутонізації, сорт Ультра який відноситься до ранньостиглих, випереджував у рості і розвитку сорт Лєра. Ця фаза настала 20 - 25 червня у сорту Ультра та 25 червня-2 липня у сорту Лєра. Як і в попередні роки, фаза цвітіння розпочалася в кінці липня. Прискорили ріст амаранту високі температури в травня (14,1°C) і червні (19,5°C), які в цей рік були найвищими, порівняно з іншими роками (рис. 3.1, рис. 3.2).

У ці ж місяці випало значно менше від норми опадів, у травні – 20,6 мм, у червні – 43,6 мм. У липні і серпні випало достатньо опадів, тому дефіциту вологи

Таблиця 3.9

**Фенологічні спостереження за ростом і розвитком рослин амаранту сорту Лєра залежно від рівнів удобрення,
2022 р.**

Рівень удобрення	Сходи (ВВСН 10)	1 п. спр. листіків (ВВСН 11)	2-3 п. спр. листіків (ВВСН 13)	Бутоніза ція (ВВСН 52-59)	Цвітіння (ВВСН 60- 69)	Розвиток насіння ВВСН 71	Достигання (ВВСН 71-89)			Триваліс ть вегетації
							молочна ВВСН 73	воскова ВВСН 77	Повна стиглість ВВСН 89	
контроль	16.05	21.05	12.06	25.06	28.07	7.08	14.08	22.08	30.08	107
N ₄₀ P ₂₀ K ₄₀	16.05	20.05	6.06	25.06	29.07	7.08	14.08	23.08	1.09	109
N ₈₀ P ₄₀ K ₈₀	16.05	20.05	5.06	26.06	30.07	9.08	16.08	26.08	4.09	112
N ₁₂₀ P ₄₀ K ₈₀	16.05	20.05	5.06	27.06	1.08	12.08	19.08	30.08	10.09	118
N ₁₆₀ P ₈₀ K ₁₂₀	16.05	20.05	3.06	28.06	3.08	17.08	24.08	3.09	13.09	121
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₂₀	16.05	20.05	2.06	2.07	7.08	23.08	30.08	7.09	19.09	127
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₆₀	16.05	20.05	2.06	2.07	7.08	23.08	30.08	7.09	19.09	127

Таблиця 3.10

**Фенологічні спостереження за ростом і розвитком рослин амаранту сорту Лєра залежно від рівнів удобрення,
2023 р.**

Рівень удобрення	Сходи ВВСН 10	1 п. спр. листіків ВВСН 11	2-3 п. спр. листіків ВВСН 13	Бутоніза ція ВВСН 52-59	Цвітіння (ВВСН 60- 69)	Розвиток насіння ВВСН 71	Достигання (ВВСН 71-89)			Триваліс ть вегетації
							молочна ВВСН 73	воскова ВВСН 77	Повна стигліст ь ВВСН 89	
контроль	8.05	13.05	4.06	20.06	24.07	2.08	8.08	16.08	24.08	109
N ₄₀ P ₂₀ K ₄₀	8.05	12.05	28.05	20.06	25.07	2.08	9.08	17.08	26.08	111
N ₈₀ P ₄₀ K ₈₀	8.05	12.05	27.05	20.06	25.07	3.08	9.08	19.08	29.08	114
N ₁₂₀ P ₄₀ K ₈₀	8.05	11.05	27.05	22.06	28.07	6.08	13.08	24.08	4.09	120
N ₁₆₀ P ₈₀ K ₁₂₀	8.05	11.05	25.05	24.06	31.07	10.08	17.08	28.08	10.09	126
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₂₀	8.05	11.05	24.05	25.06	3.08	13.08	20.08	30.08	13.09	129
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₆₀	8.05	11.05	24.05	25.06	3.08	13.08	20.08	30.08	13.09	129

для росту амаранту не відчувалось. Внаслідок нижчої кількості опадів і вищих температур, порівняно з іншими роками досліджень, сорт Ультра достиг швидше, ніж у попередні роки, а саме 15 серпня – 8 вересня. Вегетаційний період сорту Ультра становив 96-111 днів. Сорт Лера мав триваліший період вегетації і досягав через 107-127 днів. Внесення добрив в умовах 2022 року мало більший вплив на тривалість вегетації. Так, якщо на варіанті без добрив рослини сорту Ультра достигали за 96 днів, то на фоні $N_{120}P_{40}K_{80}$ через 104 днів, або на 8 днів пізніше, а за максимальної норми удобрення $N_{200}P_{80}K_{160}$ – 111 днів. Сорт Лера на контролі вегетував 107 днів, за внесення $N_{120}P_{40}K_{80}$ – 118 днів, тоді як за максимальної норми удобрення $N_{200}P_{80}K_{160}$ – 127 днів. Тобто тривалість вегетації збільшувалась залежно від норми добрив на 2 - 20 днів, у сорту Лера, і на 2 – 15 днів у сорту Ультра.

У 2023 році амарант сіяли дуже рано 21 квітня. Це значно швидше, ніж у попередні роки досліджень завдяки сприятливим умовам, а саме достатніх запасів зимово-весняної вологи в ґрунті та найкращих ресурсах тепла (квітень – $7,8^{\circ}\text{C}$; травень $14,0^{\circ}\text{C}$) (рис. 3.1, рис. 3.2).

Сходи отримали 8 травня, через 17 днів. Випереджувальний ріст і розвиток рослин амаранту сорту Ультра у 2023 році спостерігався на всіх фазах (табл. 3.6, табл. 3.7, табл. 3.9). Фаза бутонізації у сорту Ультра, залежно від норми добрив, настала 13-18 червня, у сорту Лера – 20-25 червня. Фаза цвітіння настала відповідно 16-27 липня та 24 липня – 3 серпня. Тривалість вегетації сорту Ультра була подовжена відносно 2022 року, на що вплинули надмірні опади у липні (120 мм). Підвищена температура серпня ($20,9^{\circ}\text{C}$) і вересня ($17,1^{\circ}\text{C}$) пришвидшили дозрівання сорту Лера на 2-4 дні відносно 2022 року.

Встановлено, що у сорту Лера ростові процеси не припинялися після дозрівання насіння, тоді як у сорту Ультра вегетативна маса досягала фізіологічної стиглості одночасно з насінням.

Тривалість вегетаційного періоду визначалася сортовими особливостями досліджуваних сортів амаранту. На тривалість періоду сівба-сходи сильно впливали погодні умови в роки досліджень. Тривалість наступних фаз вегетації

амаранту змінювалось залежно від норм внесення мінеральних добрив і сортових особливостей досліджуваних сортів. Вищі норми добрив, особливо азотні, подовжували вегетацію. Тривалість вегетації збільшувалась залежно від норми добрив на 2 - 20 днів, у сорту Лера, і на 2 – 15 днів у сорту Ультра.

3.2 Визначення оптимальних параметрів елементів технології вирощування для польової схожості насіння амаранту

Структура агрофітоценозу посіву амаранту складається з культурних рослин, бур'янів, мікроорганізмів тощо. Тип агрофітоценозу, що визначає взаємовідносини як між окремими рослинами амаранту, так і їх залежність від інших представників флори і фауни, з самого початку зумовлюється польовою схожістю. Вимоги рослин при цьому можуть бути різними і залежать в основному від генетичних особливостей.

Амарант відноситься до теплолюбних рослин. Для одержання дружніх сходів ґрунт має прогрітись до 8–10 °С. Дослідженнями встановлено, що лише за сівби в оптимальні строки рослини можуть повністю використати всі необхідні чинники для свого росту і розвитку та формування найвищої врожайності. Польова схожість (76 %), густота рослин (30 шт/м²) у фазі сходів, виживання рослин за вегетацію (88-90 %) та густота рослин перед збиранням (26–27 шт/м²) були найвищі за сівби у літні місяці. Маса насіння з рослини (21 г), від якої найбільше залежав рівень урожайності, була найбільшою за сівби 30 квітня [49].

Польова схожість насіння амаранту залежно від рівня удобрення

Польова схожість насіння визначає оптимальну густоту і рівномірність розміщення рослин на площі, що створює добрі умови для росту і розвитку амаранту. На польову схожість дрібного насіння ($M_{1000} = 0,6-0,9$ г) амаранту впливає багато чинників: гідротермічні умови, властивості ґрунту, наявність хвороб і шкідників і, особливо, якість насіння і підготовки ґрунту.

За результатами досліджень, проведених впродовж 2019 – 2021 рр. з вивчення впливу рівнів удобрення на польову схожість насіння амаранту сорту

Харківський 1 встановлено, що із збільшенням норми добрив польова схожість знижувалася (табл. 3.11).

Про зниження схожості за мінерального удобрення свідчать результати досліджень Онуанго С. М. і ін., де найнижчий показник спостерігався при найвищому рівні удобрення азотними добривами [457].

Таблиця 3.11

Польова схожість амаранту сорту Харківський 1 залежно від норми добрив, %

Норми добрив	Роки			Середнє
	2019	2020	2021	
Контроль	46	45	64	52
N ₄₀ P ₂₀ K ₄₀	45	43	62	50
N ₈₀ P ₄₀ K ₈₀	44	42	61	49
N ₁₂₀ P ₄₀ K ₈₀	43	41	60	48
N ₁₆₀ P ₈₀ K ₁₂₀	41	40	58	46
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₂₀	40	39	57	45
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₆₀	39	39	56	45
НІР _{0,05}	1,31	2,21	3,16	

Результати кореляційно-регресійного аналізу показали прямий зворотній зв'язок між варіантами норм добрив та показником польової схожості амаранту, $r = - 0,99$.

На контрольному варіанті без застосування добрив польова схожість становила в середньому за роки досліджень 52 %, при застосуванні норми добрив N₄₀P₂₀K₄₀ – 50 %. За найвищої норми добрив N₂₀₀P₈₀K₁₆₀ показник польової схожості знизився на 7 % становив 45 %. Низький середній показник польової схожості за роки досліджень спричинила засушлива погода у квітні і надмірна кількість опадів у травні у 2019 і 2020 роках. Найсприятливіші погодні умови для проростання насіння амаранту були у 2021 році, за яких отримано найкращі показники польової схожості 64 – 56 % залежно від рівнів удобрення.

Отже, внесення мінеральних добрив негативно впливало на польову схожість насіння амаранту ($r = - 0,99$). Із збільшенням норми добрив польова схожість насіння амаранту пропорційно знижувалася. За найвищої норми добрив $N_{200}P_{80}K_{160}$ показник польової схожості знизився відносно контрольного варіанту на 7 % і становив 45 %.

Польова схожість насіння амаранту залежно від норм висіву

Для нормального росту і розвитку рослин амаранту потрібна відповідна площа живлення, за якої вони будуть мати достатньо поживних речовин і води для створення необхідної вегетативної маси і зерна. Тому формування високоврожайних посівів амаранту у значній мірі залежить від оптимальної норми висіву, величина якої визначається кліматичними умовами, родючістю ґрунту, системою удобрення, біологічними особливостями сорту, строками і способами сівби, якістю насіння тощо. Урожайність зменшується як при зрідженому, так і при загущеному розміщенні рослин на площі. Відомо, що агрофітоценози мають здатність до саморегуляції та чутливо реагують на надмірне загущення посівів, що призводить до значної редукції вже сформованих морфологічних елементів: передчасного усихання і відмирання листя нижніх ярусів, зменшення маси стебел, листя, репродуктивних органів і самих рослин, що зумовлює недобір урожаю зерна.

Дослідження з встановлення оптимальної норми висіву насіння амаранту проводили впродовж 2020 – 2022 рр. Найвища температура у роки досліджень у травні-квітні була у 2021 році, що сприяло найвищій польовій схожості, де вона була на рівні 65-76 %. У 2020 та 2022 рр. польова схожість меншою, оскільки на час сходів температура була нижчою. Вологи було достатньо у всі три роки, тому вона не була обмежуючим чинником.

У середньому за три роки найвищою польова схожість була за мінімальної норми висіву 0,2 млн/га і вона становила 70 % (табл. 3.12).

Польова схожість амаранту сорту Харківський 1 залежно від норми висіву, %

Норма висіву, млн/га схожих насінин	Роки			Середнє
	2020	2021	2022	
0,2	66	76	68	70
0,4	66	73	65	68
0,6	63	68	64	65
0,8	59	68	62	63
1,0	59	67	60	62
1,2	57	65	58	60
HP _{0,05}	0,64	0,64	0,67	

На варіанті з нормою висіву 0,4 млн/га вона знизилась до 68 %, або на 2 % порівняно з висівом 0,2 млн/га. За норми висіву 0,6 млн/га польова схожість зменшилась ще на 3 %, порівняно до попереднього варіанту. За висіву 0,8; 1,0; та 1,2 млн/га польова схожість із збільшенням кількості висіяних насінин продовжувала знижуватись (63; 62; і 60 %). Різниця у рівні польової схожості між варіантами була відносно невеликою і становила 10 %.

За результатами кореляційно-регресійного аналізу встановлено вельми високий, майже прямий, зворотній вплив норм висіву на показник польової схожості насіння амаранту сорту Харківський 1, коефіцієнт кореляції становив $r = -0,99$. Підтвердженням цьому є статистична модель (рис. 3.4).

Дану залежність достовірно описує рівняння регресії:

$$Y = 71,667 - 10,00X_1,$$

де, Y - польова схожість, %;

X_1 - норма висіву, млн/га схожих насінин.

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,98$.

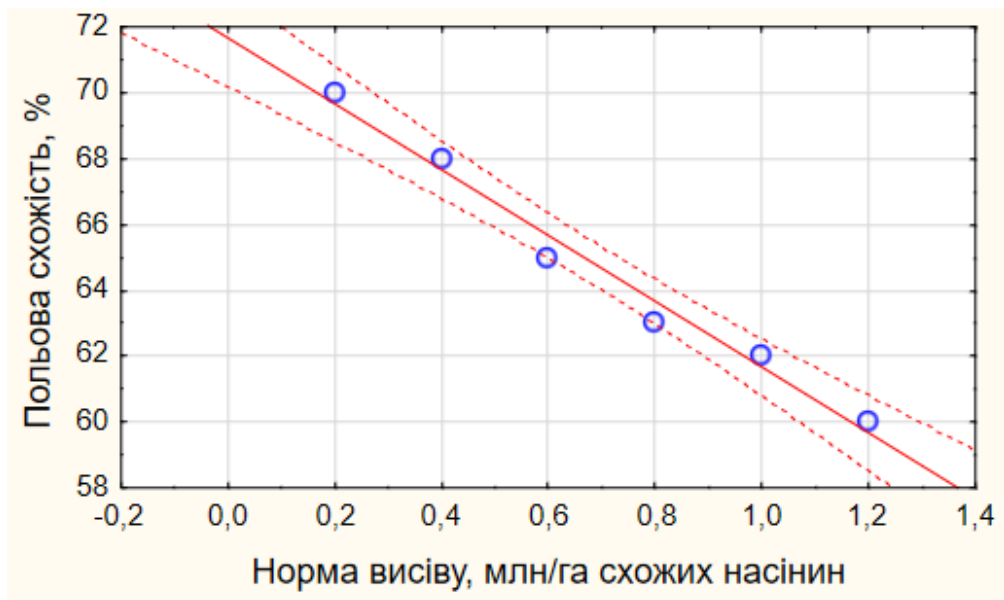


Рис. 3.4. Статистична модель залежності між нормою висіву (млн/га схожих насінин) та польовою схожістю насіння амаранту сорту Харківський 1 (%).

Отже, збільшення норми висіву призводило до закономірного зниження польової схожості амаранту. Найменша норма висіву – 0,2 млн/га, забезпечила найвищий показник польової схожості по досліді – 70 %. За висівання насіння амаранту у нормі 1,2 млн/га польова схожість була найменшою і становила 60 %, або знизилась на 10 %.

Польова схожість насіння амаранту залежно від строків сівби

Строки сівби для амаранту є важливим технологічним чинником реалізації рівня продуктивності, що впливає на своєчасне одержання сходів і тривалість вегетаційного періоду, особливо при вирощуванні його на зерно. Дослідженнями вчених встановлено, що лише за сівби в оптимальні строки рослини можуть повністю використати всі необхідні чинники для свого росту і розвитку та формування найвищої врожайності. Амарант відноситься до теплолюбних рослин, тому для одержання дружних сходів ґрунт має прогрітись до 8–10°C. За температури понад 10 °C сходи з'являються на 8–9-й день. Сівба в оптимальні строки скорочує період сівба-сходи, забезпечує підвищення польової схожості, сприяє зменшенню рівня забур'яненості порівняно з ранніми строками сівби [175].

Оптимальні строки сівби в умовах західного Лісостепу України припадають на 20-25 квітня. За більш ранніх строків сівби насіння амаранту проростало повільніше, зменшувалась польова схожість, що призводило до зниження урожайності. Урожайність знижувалась також за сівби у пізніші строки [115].

За результатами досліджень низки вчених, польова схожість амаранту може бути значно нижчою порівняно з іншими культурами. Так, найвища польова схожість (лише 68 %) в умовах Харківської області була у сорту Студентський за сівби у перший строк, коли ґрунт прогрівся до 10–12 °С [44].

У польовому досліді з встановлення оптимального строку сівби використовували сорт амаранту Лера за норми добрив $N_{160}P_{60}K_{120}$ і норми висіву 0,4 млн/га (табл. 3.13).

Таблиця 3.13

Вплив строків сівби на польову схожість амаранту сорту Лера, %

№ п/п	Строки сівби	Роки			Середнє
		2021	2022	2023	
1	15 квітня	56	60	58	58
2	30 квітня	57	66	57	60
3	15 травня	75	71	57	68
4	30 травня	77	70	55	67
5	15 червня	78	67	74	73
6	30 червня	79	67	76	74
7	15 липня	77	76	75	76
8	30 липня	76	77	75	76
НІР _{0,05}		3,28	3,80	3,35	

Встановлено, що показник польової схожості зростав із підвищенням температури повітря. Так, польова схожість у середньому за 2021 - 2023 роки була найменшою - 58 та 60 % у квітневі строки сівби у всі роки внаслідок нижчої температури ґрунту. За травневих строків сівби польова схожість підвищилась

до 68 та 67 %. Відсутність опадів у цей місяць в 2023 році призвела до зниження польової схожості до 57 та 55 %. Для строків сівби у літні місяці була характерна найвища польова схожість, у межах 73-76 %, оскільки тепловий режим і кількість вологи були оптимальні.

За норми висіву 0,4 млн/га, у фазі сходів залежно від строків сівби, на 1 м² було від 23 до 30 рослин/м². Коефіцієнт кореляції між строками сівби і польовою схожістю насіння амаранту становив $r = 0,95$, що свідчить про вельми сильний зв'язок.

Отже, найкращі кліматичні умови для швидких та дружніх сходів насіння амаранту були у літні місяці, оскільки тепловий режим і кількість вологи були оптимальними. Встановлено, що показник польової схожості зростав із підвищенням температури повітря ($r = 0,95$). Показник польової схожості у червні – липні був у межах 73-76 %, і найменшою - 58 та 60 % у квітневій строки сівби.

Польова схожість насіння амаранту залежно від глибини загортання

Глибина загортання насіння – один з основних показників якості сівби амаранту. Вона значною мірою визначає будову майбутнього проростка і тип рослини. Від глибини сівби залежить рівень польової схожості, своєчасність і дружність сходів, ріст, розвиток і продуктивність амаранту. Необхідно зазначити, що насіння амаранту дуже дрібне і має обмежений запас поживних речовин. Маса 1000 насінин становить орієнтовно 0,7-0,9 г. Розмір насіння знаходиться в межах від 0,8 до 1,5 мм і після появи сходів рослина росте дуже повільно [274, 324, 583].

У результаті проведення досліджень в умовах Лівобережного Лісостепу з визначення польової схожості насіння амаранту встановлено вплив глибини його загортання. За глибини сівби 3 см залежно від виду (*A. Cruentus*, *A. Hybridus*, *A. Hypochondriacus*) польова схожість була найбільшою і становила 62-67 %. За мілкішої сівби на 1 см зменшилась до 55-58 %, а при сівбі на 6 см була найнижчою – 42-48 % [87]. За даними Гопцій Т.І., оптимальною глибиною загортання насіння амаранту є 3 см, з обов'язковим виконанням допосівного і

післяпосівного ущільнення. Проведення післяпосівного ущільнення скорочує появу сходів на 4–5 днів, підвищує схожість на 22–26 % залежно від виду амаранту [29, 32].

У наших дослідженнях з встановлення оптимальної глибини загортання насіння амаранту найкращі умови для одержання високої польової схожості були за сівби на глибину 1 та 2 см – відповідно 74 % та 79 % (табл. 3.14).

Таблиця 3.14

Польова схожість амаранту сорту Харківський 1 залежно від глибини сівби, %

Глибина сівби, см	Роки			Середнє за три роки, %	Приріст до Н =5 см, %
	2022	2023	2024		
1	78	70	73	74	31
2	86	70	82	79	36
3	76	64	74	71	28
4	61	53	60	58	15
5	48	40	42	43	-
НІР _{0,05}	4,31	3,01	4,07		

Із збільшенням глибини загортання насіння польова схожість значно зменшувалась, що підтверджують результати статистичного аналізу (рис. 3.5). Так, за сівби на глибину 4 см польова схожість становила 58 %, або менше порівняно з варіантом з глибиною 2 см на 21 %. Найгірші умови для сходів створювались із збільшення глибини сівби до 5 см, де польова схожість становила лише 43 %, що менше ніж на другому варіанті на 36 %.

За результатами кореляційно-регресійного аналізу встановлено високий зворотній зв'язок між глибиною загортання і польовою схожістю насіння, коефіцієнт кореляції становив $r = -86$.

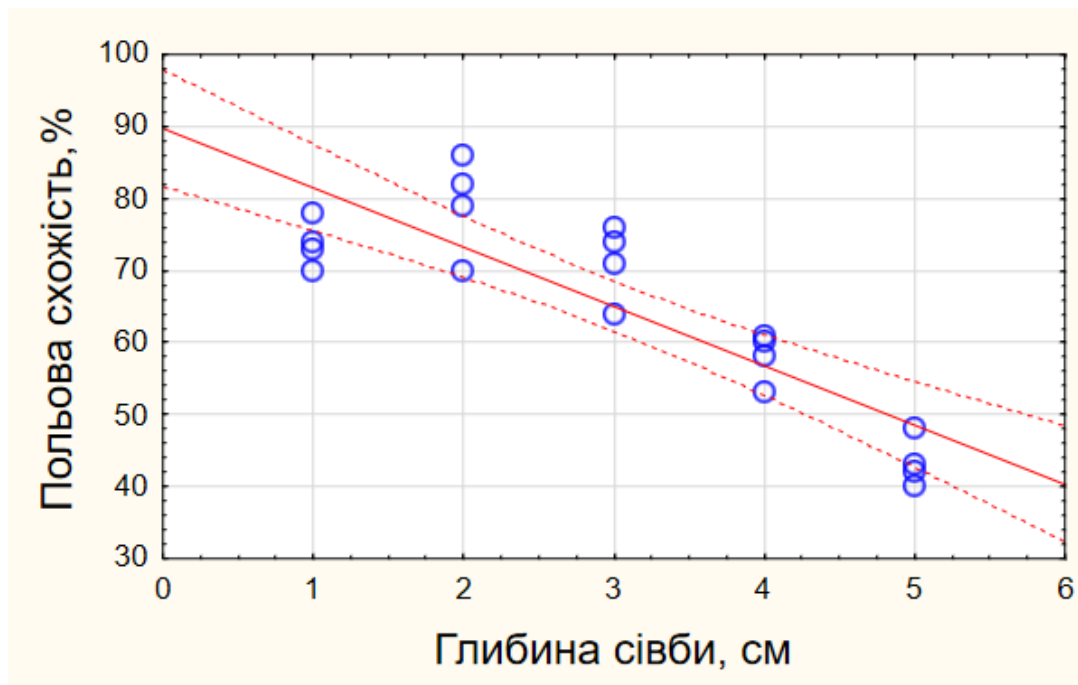


Рис. 3.5. Статистична модель залежності між глибиною сівби і польовою схожістю насіння.

Дану залежність достовірно описує рівняння регресії:

$$Y = 89,775 - 8,225 X_1;$$

де Y - польова схожість, %;

X_1 - глибина сівби, см.

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,73$.

При збільшенні глибини сівби знижувалася польова схожість насіння і подовжувався період сходів, що призводило до нерівномірності розвитку рослин. Сходи формуються ослаблені, з меншим потенціалом продуктивності. Рослини витрачають більше енергії на досягнення поверхні ґрунту, що негативно впливає на подальший розвиток кореневої системи та надземної маси.

Отже, оптимальні умови для одержання високої польової схожості на рівні 74 % та 79 % створюються за сівби на 1 см та 2 см. У випадку пересихання верхнього шару ґрунту доцільною є сівба амаранту на глибину 3 см. Сівба глибше 3 см в умовах достатнього зволоження західного Лісостепу України призводить до різкого зниження польової схожості насіння.

3.3 Виживаність рослин амаранту залежно від досліджуваних факторів

Для реалізації потенціалу урожайності агроценозу важливе значення має встановлення оптимальної густоти рослин на одиниці площі, яка б відповідала біологічним особливостям культури, кліматичним умовам зони, елементам технології вирощування тощо. Густота рослин перед збиранням є одним із найважливіших показників структури врожаю.

Виживання рослин – це інтегрований показник, який характеризує здатність насіння обумовлювати розвиток повноцінних рослин, що беруть участь у формуванні врожаю [80].

Вплив рівнів удобрення на виживаність рослин амаранту

За результатами досліджень з вивчення впливу рівнів удобрення на формування продуктивності амаранту, встановлено, що норми мінеральних добрив слабо впливали на густоту рослин, цей показник був стабільним по варіантах і змінювався в межах 18 – 20 рослин/м² (рис.3.1). Коефіцієнт кореляції між рівнями удобрення та густотою рослин на час збирання становив $r = -0,26$, що свідчить про тенденцію до слабого зворотного зв'язку.

Виживаність рослин амаранту сорту Харківський 1 впродовж вегетації зростала із збільшенням норми добрив до варіанту з нормою добрив N₁₂₀P₄₀K₈₀ (рис. 3.6). Відмічено різкий зріст показника виживаності від 48 % за контрольного варіанту без застосування мінеральних добрив, до 52 % за норми добрив N₄₀P₂₀K₄₀. Загалом по досліді, застосування норм добрив забезпечило зростання показника виживаності на 4 – 9 % відносно контролю. Поліноміальна крива набуває максимального значення за показника 57 % виживаності і густоти рослин на час збирання 20 шт/м² за норми удобрення N₁₂₀P₄₀K₈₀. Подальше збільшення рівня удобрення призводило до зниження густоти рослин на час збирання і, як наслідок, до нижчої виживаності.

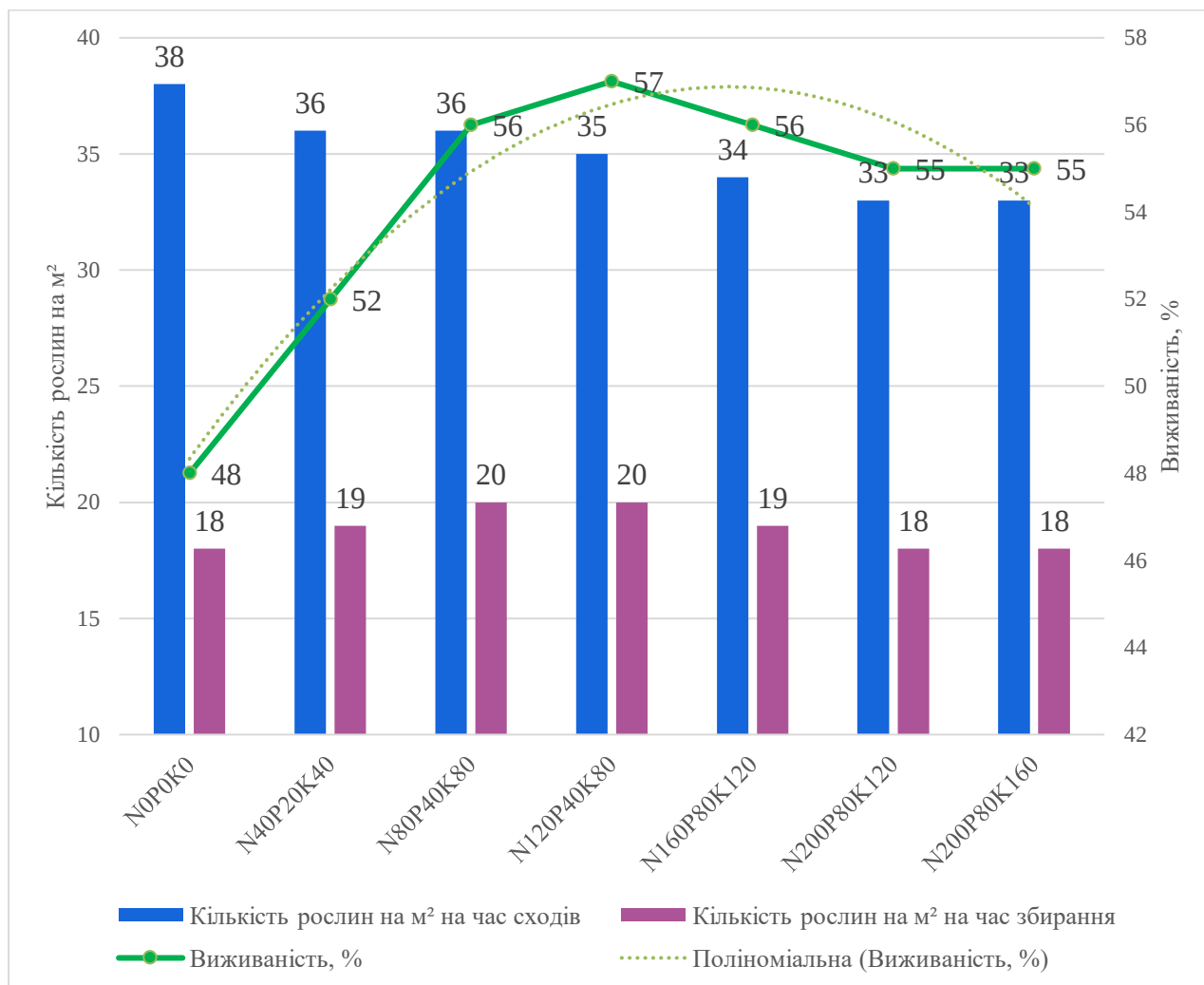


Рис. 3.6. Кількість рослин і виживаність амаранту сорту Харківський 1 залежно від норм добрив, %, середнє за 2019-2021 рр.

Дану залежність достовірно описує рівняння регресії:

$$Y = -0,5833X^2 + 5,631 X + 43,286,$$

де Y - виживаність, %;

X – це рівень удобрення.

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,93$.

Отже, найсприятливіші умови росту і розвитку для рослин амаранту сорту Харківський 1 склалися за норми мінеральних добрив $N_{120}P_{40}K_{80}$, за якої виживаність становила 57 % та густота рослин на час збирання – 20 шт/м². Подальше збільшення рівня удобрення призводило до зниження густоти рослин на час збирання і нижчої виживаності.

Формування густоти рослин сортів амаранту залежно від норми висіву

Одним з найважливіших елементів структури врожаю є кількість рослин на одиниці площі. Для встановлення впливу норм висіву на збереженість рослин впродовж періоду вегетації ми досліджували реакції семи сортів амаранту за шести норм висіву. Норма висіву різнилась між варіантами на 20 насінин/м² і коливалась від 20 до 120 насінин на м².

Результати наших досліджень показують, що густота рослин сортів амаранту перед збиранням коливалась в інтервалі від 13 до 35 рослин/м² залежно від сорту і норми висіву насіння. Це пояснюється тим, що у густіших посівах дещо зменшувалась польова схожість і різко знижувався рівень виживання рослин за період від сходів до збирання. В середньому за сортом густота рослин перед збиранням була майже однаковою у всіх сортів і змінювалась у діапазоні 25 – 28 рослин/м² (табл. 3.15).

Таблиця 3.15

Густота рослин амаранту перед збиранням залежно від сорту і норми висіву, шт/м², 2020–2022 рр.

Сорт	Норма висіву, млн/га схожих насінин						Середнє за сортами
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	
Харківський 1	13	20	25	29	31	33	25
Ацтек	14	21	26	29	30	31	25
Лера	14	20	25	30	31	31	25
Сем	14	21	26	31	32	32	26
Студентський	14	22	27	32	33	33	27
Ультра	14	23	28	32	34	35	28
Середнє за нормами висіву	14	21	26	31	32	32	

На щільність рослин значно більше впливав інший досліджуваний чинник – норма висіву, адже варіанти відрізнялись між собою на 0,2 млн/га або на 20

рослин/м². Кореляційно-регресійний аналіз показав сильний вплив норм висіву на густоту рослин на час збирання, коефіцієнт кореляції становив $r = 0,93$.

Очікувано менша густота рослин була за нижчих норм висіву. З врахуванням зменшення густоти рослин внаслідок втрат під час польової схожості та, особливо, виживання за вегетаційний період, одержано наступні результати. За норми висіву 0,2 млн/га густота рослин перед збиранням становила 14 рослин/м². На варіанті з нормою висіву 0,4 млн/га вона збільшилась до 21 р/м², або на 7 р/м². Збільшення норми висіву до 0,6 млн/га та 0,8 млн/га призвело до зростання щільності рослин, відповідно, до 26 та 31 р/м², що більше на 5 р/м² до попереднього варіанту. За найвищих норм висіву (1,0 та 1,2 млн/га) густота майже не зростала (32 р/м²) внаслідок погіршення умов росту, збільшення внутривидової конкуренції та падіння рівня виживання рослин.

Площина регресії наочно демонструє збільшення щільності рослин амаранту сортів за більших норм висіву, а також реакцію кожного сорту за кожної норми висіву (рис. 3.7).

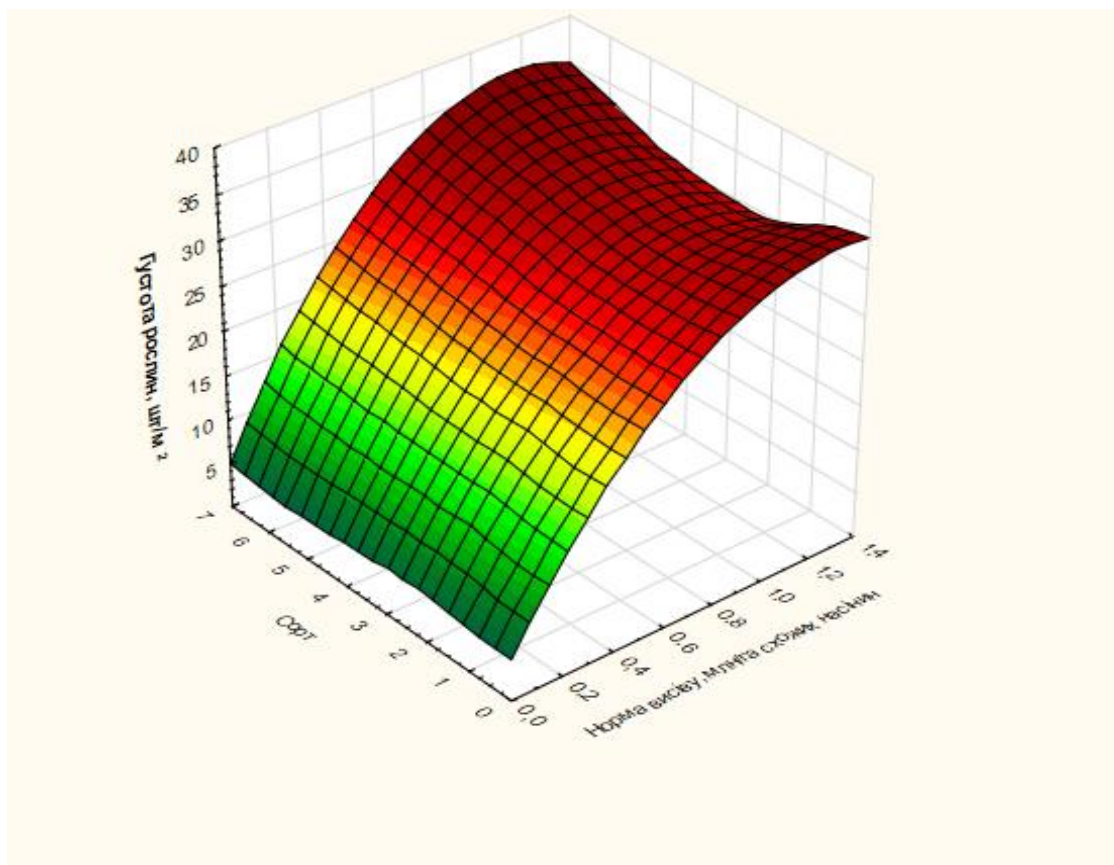


Рис. 3.7. Просторова 3Д модель регресії показника густоти рослин амаранту на час збирання (шт/м²) залежно від сорту і норм висіву насіння.

Відслідковується позитивна тенденція збереженості рослин в період вегетації за збільшення норм висіву сортів Харківський 1 і Ультра.

Дану залежність достовірно описує рівняння регресії:

$$Y = 11,2 + 0,52 X_1 + 18,5 X_2;$$

де Y - густота рослин амаранту на час збирання, шт/м²;

X_1 – сорт;

X_2 - норма висіву, млн/га схожих насінин.

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,89$.

Вирівнювання густоти стояння рослин стало наслідком різного рівня виживання рослин. При висіві 20 насінин на м² до збирання залишалось 14 р/м², або виживало 70 %, а за максимальної норми висіву 120 н/м² перед збиранням одержали 32 р/м², або вижило лише 27 %.

Виживання рослин за вегетаційний період більше змінювалось під впливом норм висіву, ніж польова схожість. Значна частина рослин гине внаслідок внутривидової конкуренції, особливо це характерно для загущених посівів і з різноглибинним загортанням насіння. Гостро проявляється конкурентна боротьба під час росту стебла і інтенсивного наростання вегетативної маси. Краще розвинуті рослини поглинають вкрай необхідні вологу і поживні речовини, випереджують у рості ослаблені рослини і збільшують їх пригнічення, затінюючи їх від сонячних променів, що згодом призводить до загибелі. Це підтверджує детальніший аналіз впливу норм висіву на виживаність рослин амаранту сорту Харківський 1. Кількість рослин у фазі сходів сорту амаранту Харківський 1 коливалась у інтервалі – від 14 до 72 рослин/м² (рис. 3.8).

Найвищим виживання рослин сорту амаранту Харківський 1 в середньому за три роки було за найменшої норми висіву - 86 %. Збільшення норми висіву до 0,4 млн/га спричинило зниження рівня виживання до 79 %, а до 0.6 млн/га – до 67 %. У загущених посівах за норм висіву 0,8; 1,0; 1,2 млн/га виживання рослин амаранту від фази сходів до збирання було найменшим, відповідно 58; 51; 45 %.

Різниця у виживанні між варіантами з найменшою і найбільшою нормами висіву становить 41 %.

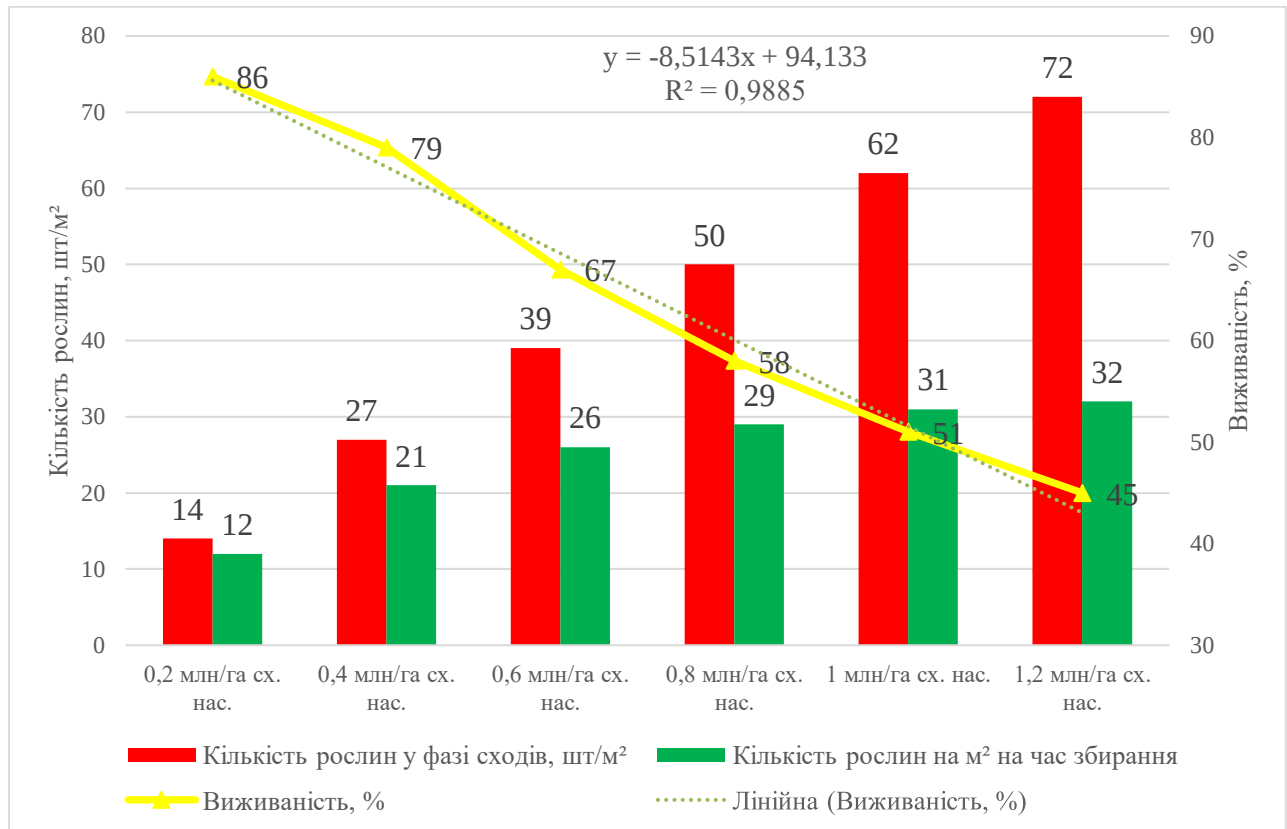


Рис. 3.8. Вплив норм висіву на виживаність рослин сорту Харківський 1 у фазі сходів і на час збирання, середнє за 2020 – 2022 рр.

В результаті проведення кореляційно-регресійного аналізу встановлено дуже сильний зворотній вплив норм висіву на виживаність рослин амаранту сорту Харківський 1 за вегетаційний період, коефіцієнт кореляції становив $r = -0,97$. Лінійна пряма засвідчує стійке зниження виживаності рослин із збільшенням норми висіву насіння амаранту, а високий коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,99$ засвідчує достовірність рівняння регресії:

$$Y = -8,5143X + 94,133;$$

де Y - виживаність, %;

X – це норма висіву насіння, млн сх. нас./га.

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,99$

Отже, густина рослин амаранту на 1 м² зростала із збільшенням норми висіву. Найщільніший посів було сформовано за найбільшої норми висіву 1,2 млн/га схожих насінин. Проте, внутривидова конкуренція рослин в більш загущених посівах призвела до загибелі значної частини рослин. Встановлено стійке зниження виживаності рослин із збільшенням норми висіву насіння амаранту ($r = - 0,97$). Найкращу виживаність 86 % одержали за норми висіву 0,2 млн/га схожих насінин.

Густина рослин перед збиранням за норми висіву 0,2 млн/га становила 14 рослин/м², а за висіву 1,2 млн/га збільшилась лише до 32 рослин/м², або на 18 рослин/м². Густина рослин мало залежала від сорту і перебувала в межах 25-28 рослин/м².

Формування густоти рослин сортів амаранту залежно від строків сівби

Для масового впровадження амаранту у виробництво в сільському господарстві необхідно детально дослідити як формується врожайність і якість цієї культури в ґрунтово-кліматичних умовах Лісостепу західного. Особливо важливим фактором є встановлення оптимального строку для сівби, за якого будуть забезпечені швидкі та рівномірні сходи, а також високий рівень польової схожості насіння.

Є дані авторів про необхідність проводити сівбу культури при значно вищих температурах – 18–20 °С в шарі ґрунту 0–10 см, що припадає в більшості випадків на середину травня [24].

Про потребу сіяти не раніше 20 квітня вказується й іншими дослідниками. Краще сіяти за температури ґрунту 12–16 °С [28]. За іншими даними оптимальні строки сівби припадають на першу декаду травня [267].

В умовах Лівобережного Лісостепу України оптимальним можна вважати проведення сівби в 1–2-й декаді травня, тобто при сталому прогріванні ґрунту вище 12°С [44]. Такі ж рекомендації вказані в багатьох інших дослідженнях. Оптимальний строк сівби припадає в період з 5 по 25 травня [86]. У пізніших дослідженнях Когут І. М., Мішин С. М. і Когут С. Г. зазначено, що для умов Південного Степу України дещо скорочується період оптимальності сівби – з

середини першої декади до середини другої декади травня [84]. А за даними Гусєва М. Г., Войташенко Д. П. і Кифорука В. В., кращі строки сівби – середина травня [49]. За вирощування на зерно вид *Amaranthus cruentus* L. потрібно сіяти 25 травня[370].

В наших дослідженнях вивчалися вісім строків сівби з інтервалом у 15 днів починаючи з 15 квітня до 30 липня. Рівень виживання рослин амаранту від сходів до збирання коливався в межах 75–90 % (табл. 3.16).

Таблиця 3.16

Виживаність за вегетаційний період та густота рослин амаранту сорту Лєра перед збиранням залежно від строків сівби, середнє за 2021-2023 рр.

Строки сівби	Виживаність, %	Приріст, %	Густота рослин перед збиранням, шт/м ²	Приріст, шт/м ²
15 квітня	75	-	17	-
30 квітня	77	2	18	1
15 травня	83	8	22	5
30 травня	83	8	22	5
15 червня	89	14	26	9
30 червня	88	13	26	9
15 липня	90	15	27	10
30 липня	88	13	26	9

НІР_{0,05} %, 2021 р. – 2,35 2022 р. – 1,83 2023 р. – 2,92

За сівби у менш сприятливих умовах у квітні він був значно нижчим і становив 75-77 %. За травневих строків сівби виживання рослин амаранту підвищилось до 83 %. За сівби у червні і липні показник виживання зріс до 88–90 %. Якщо польова схожість сильно залежала від гідротермічних умов року, то вплив гідротермічних умов на рівень виживання був значно меншим. Це пояснюється тим, що впродовж вегетації амаранту був сприятливий тепловий режим і достатня забезпеченість вологою.

Густота рослин перед збиранням залежала від польової схожості та виживаності рослин за вегетаційний період. Вона змінювалась з 17–18 шт/м² за сівби у квітні до 22 шт/м² – за сівби у травні. Встановлено прямий вплив польової схожості на густоту рослин на час збирання залежно від строків сівби, коефіцієнт кореляції становив $r = 0,99$. Найбільша кількість рослин амаранту формувалась на варіантах з строками сівби у червні та липні – 26–27 шт/м² (рис. 3.9).

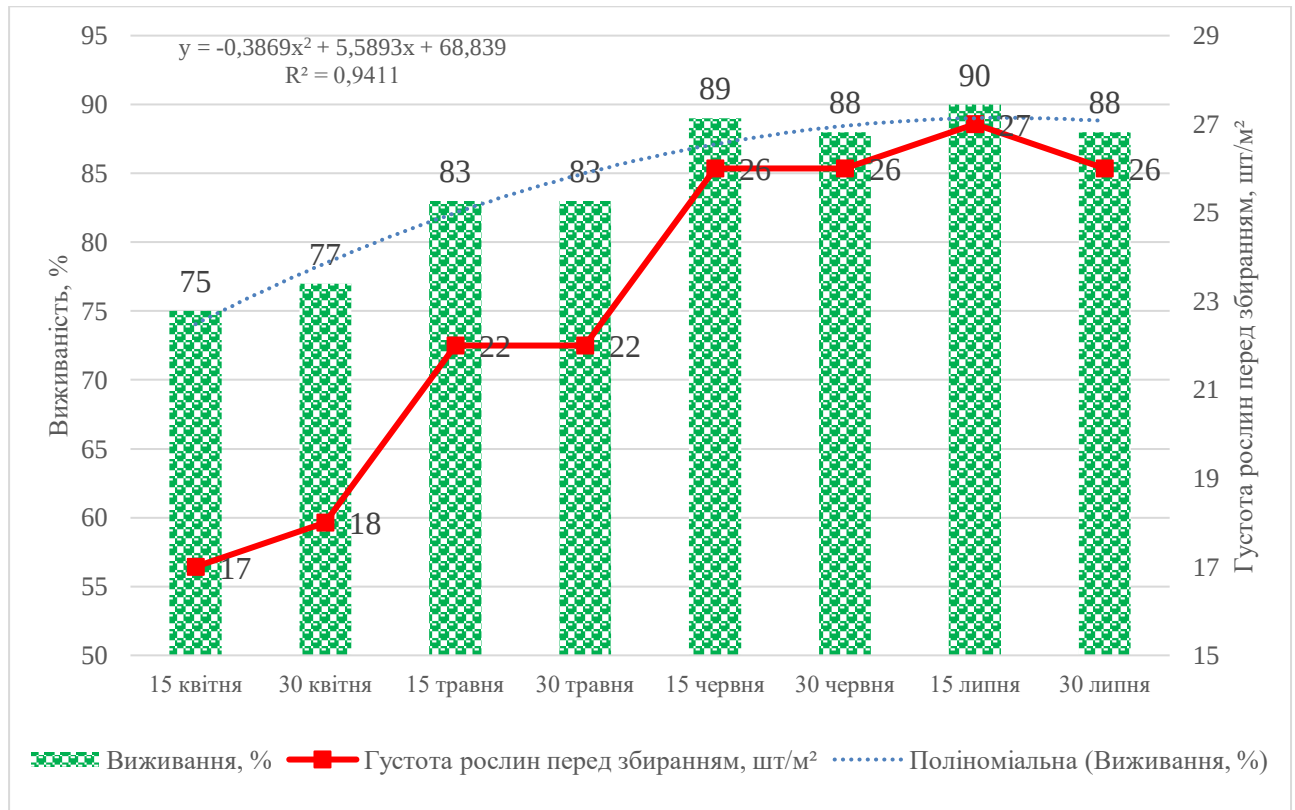


Рис. 3.9. Вживаність за вегетаційний період та густота рослин амаранту сорту Лера перед збиранням залежно від строків сівби, середнє за 2021-2023 рр.

За результатами регресійного аналізу впливу строків сівби на густоту і виживаність рослин амаранту було побудовано поліноміальну криву, за якою можемо прогнозувати зниження виживаності при пізніших від 15 липня строках сівби. Дану залежність достовірно демонструє рівняння регресії:

$$Y = -0,3869X^2 + 5,5893X + 68,839;$$

де Y - виживаність, %

X – строк сівби.

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,94$

Площина регресії показує, що більша кількість рослин амаранту на час збирання врожаю за пізніших строків сівби позитивно впливає на виживаність (рис. 3.10).

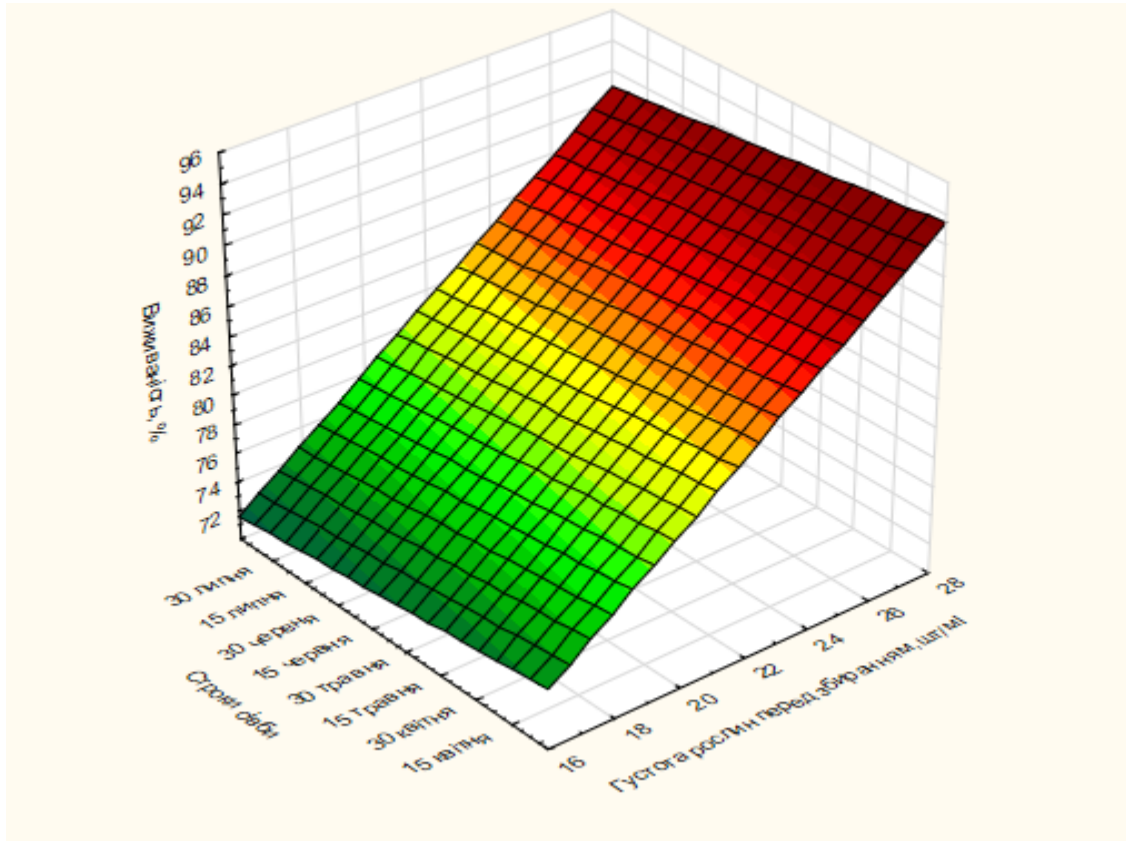


Рис. 3.10. Просторова 3Д модель регресії показника виживаності рослин амаранту у зв'язку зі змінами строку сівби і густоти рослин на час збирання (шт/м²).

Дану залежність достовірно демонструє рівняння регресії:

$$Y = 75,7179 + 1,6135X_1 - 0,2747X_2;$$

де Y - виживаність, %;

X_1 - строк сівби;

X_2 - густина рослин перед збиранням, шт/м².

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,99$.

Отже, строки сівби впливали на виживаність рослин амаранту впродовж періоду вегетації. Найбільшу виживаність було отримано за сівби у червні і

липні, показник виживання зріс до 88–90 %, що є на 13 - 15 % вище відносно строку 15 квітня.

Формування густоти рослин сортів амаранту залежно від глибини загортання насіння

Густота рослин перед збиранням є важливим показником для визначення біологічної врожайності. На перших фазах росту її величина найбільше залежить від норми висіву та рівня польової схожості. Під час вегетації густота рослин постійно змінюється в сторону зменшення. Вона є складним показником, в якому віддзеркалюються такі складові: норма висіву, польова схожість і виживання рослин від фази сходів до фази фізіологічного досягання.

Аналіз літературних джерел з вивчення глибини сівби амаранту показує різні параметри глибин. В умовах нестачі вологи є потреба збільшувати глибину загортання насіння з метою розмістити насіння у вологому шарі ґрунту [71]. В умовах Лісостепу західного немає потреби сіяти надто глибоко, тому найбільшою глибиною в наших дослідженнях була 5 см.

У наших дослідженнях вища польова схожість забезпечувала більшу густоту рослин перед збиранням. За глибини загортання насіння 1-3 см вона становила 24 - 28 шт/м² (табл. 3.17).

Таблиця 3.17

Густота рослин сорту Харківський 1 перед збиранням залежно від глибини сівби, шт/м²

Глибина сівби, см	Роки			Середнє	Приріст до Н=5 см
	2022	2023	2024		
1	29	25	26	27	12
2	29	27	28	28	13
3	27	23	23	24	9
4	20	18	20	19	4
5	16	14	14	15	-
НІР _{0,05} %,	1,78	7,58	7,19		

Сівба на глибину 4 см та 5 см призводила до зменшення кількості рослин на одиниці площі до 19 шт/м² та 15 шт/м² відповідно.

Результати кореляційно – регресійного аналізу засвідчують вельми високий вплив польової схожості насіння на густоту рослин перед збиранням залежно від глибини сівби, коефіцієнт кореляції становив $r = -0,97$ (рис. 3.11).

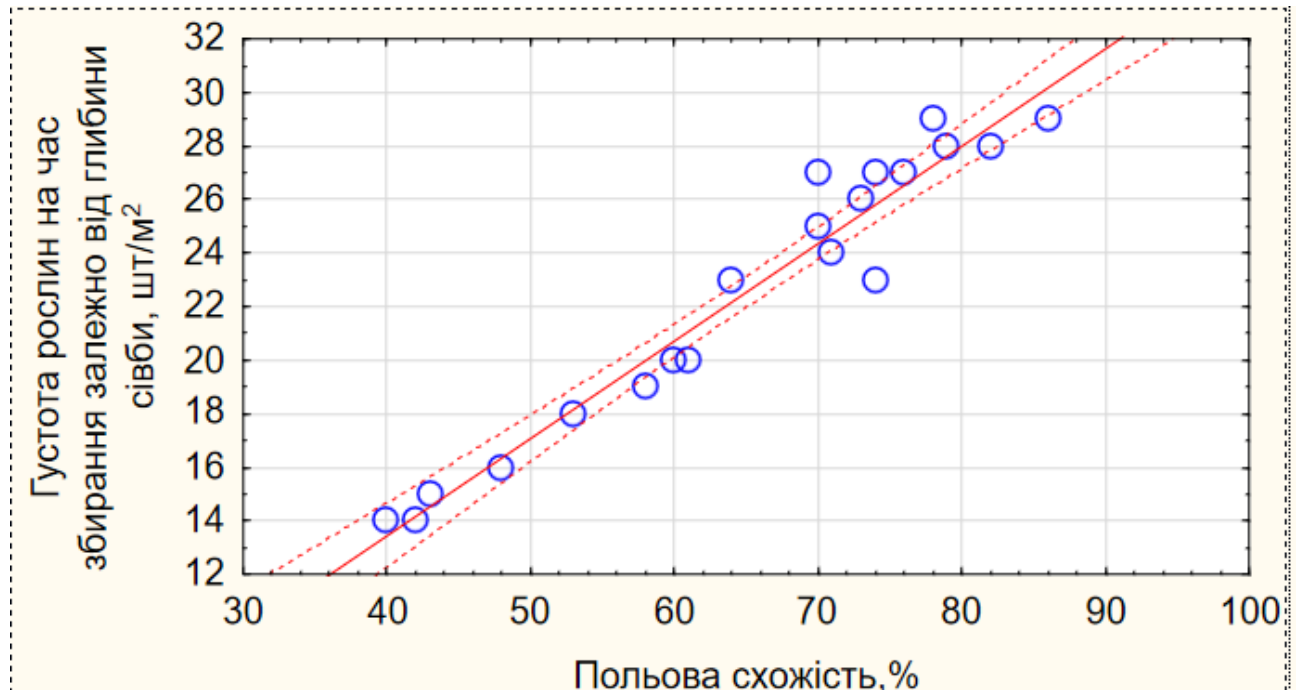


Рис. 3.11. Статистична модель залежності між глибиною сівби і польовою схожістю насіння.

Дану залежність достовірно демонструє рівняння регресії:

$$Y = -1,074 + 0,36365X;$$

де Y - густота рослин залежно від глибини сівби, шт/м²;

X_1 - польова схожість, %.

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,94$.

Коефіцієнт множинної кореляції $R = 0,98$ характеризує ступінь тісноти зв'язку між густотою рослин амаранту на час збирання, глибиною сівби і польовою схожістю як вельми високий. Графічна модель (рис. 3.12) демонструє,

що площа регресії кількості рослин амаранту на час збирання врожаю знижується із збільшенням глибини загортання насіння.

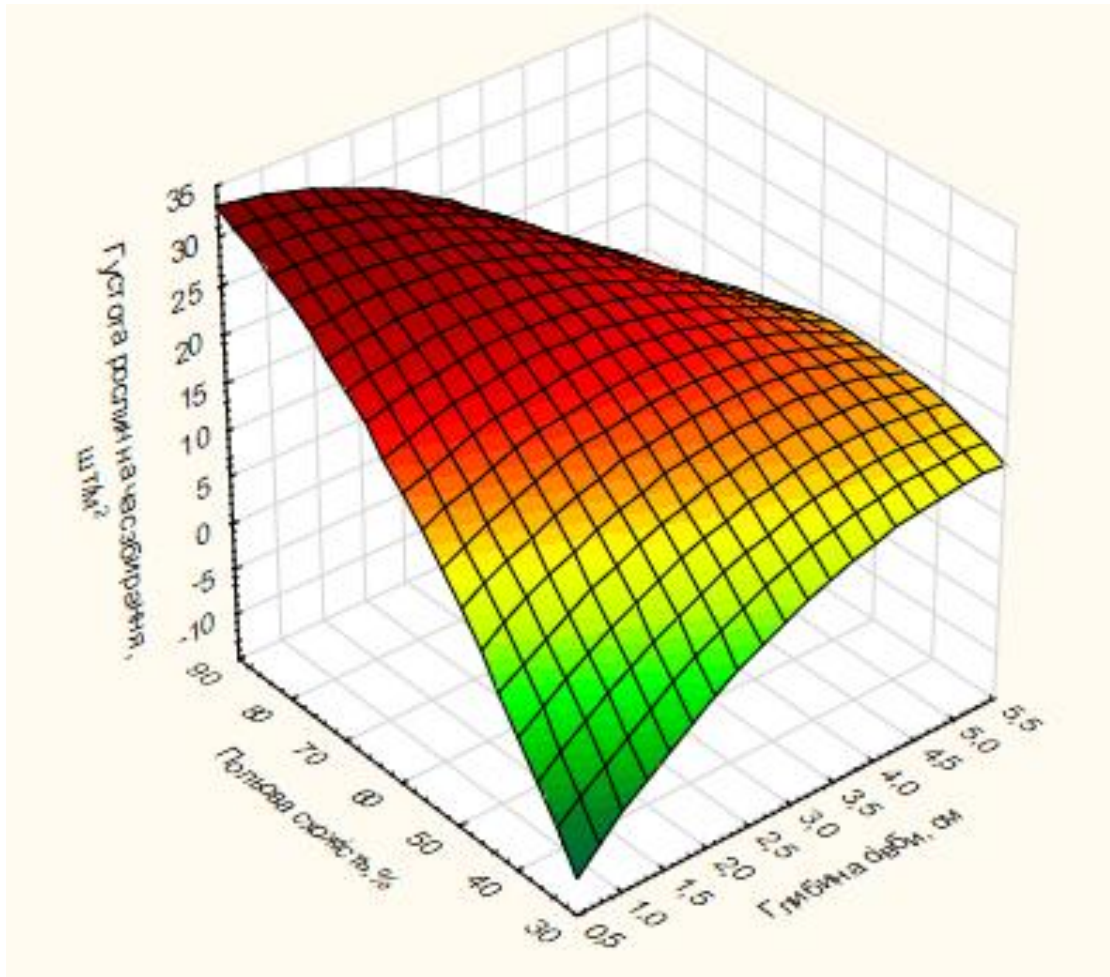


Рис. 3.12. Просторова 3Д модель регресії показника густоти рослин амаранту на час збирання (шт/м²) у зв'язку зі змінами глибини сівби і польової схожості насіння (2022-2024 рр.).

Дану залежність достовірно описує рівняння регресії:

$$Y = 8,3039 - 1,0651 * X_1 + 0,2687 X_2;$$

де Y - густота рослин на час збирання, шт/м²;

X_1 – польова схожість, %;

X_2 – глибина сівби, см.

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,97$.

Отже, встановлено, що збільшення глибини сівби насіння негативно впливало на формування густоти рослин амаранту на час збирання врожаю. Найоптимальнішим параметром глибини сівби насіння амаранту є 2 см, за якого отримано найщільніший посів – 28 шт. рослин/м².

Висновки до розділу 2

1. Тривалість вегетаційного періоду визначалася сортовими особливостями досліджуваних сортів амаранту. Кліматичні умови в роки досліджень сильно впливали на тривалість періоду сівба-сходи. Тривалість наступних фаз вегетації амаранту змінювалось залежно від норм внесення мінеральних добрив і сортових особливостей досліджуваних сортів: на 2 - 20 днів у сорту Лера і на 2 – 15 днів у сорту Ультра. Вищі норми добрив, особливо азотних, подовжували вегетацію.

2. Внесення мінеральних добрив негативно вплинуло на польову схожість насіння амаранту ($r = - 0,99$). Із збільшенням норми добрив польова схожість насіння амаранту сорту Харківський 1 пропорційно знижувалася. За найвищої норми добрив $N_{200}P_{80}K_{160}$ показник польової схожості знизився відносно контрольного варіанту на 7 % і становив 45 %.

3. Збільшення норми висіву призводило до зниження польової схожості амаранту. Найменша норма висіву – 0,2 млн/га забезпечила найвищий показник польової схожості по досліді - 70 %. За висівання насіння амаранту у нормі 1,2 млн/га польова схожість становила 60 %, або знизилась на 10 %.

4. У літні місяці складаються найкращі кліматичні умови для швидких та дружніх сходів насіння амаранту, оскільки тепловий режим і кількість вологи є оптимальними. Встановлено, що показник польової схожості зростає із підвищенням температури повітря ($r = 0,95$). Показник польової схожості у червні – липні був найвищим, у межах 73-76 %, і найменшим - 58 та 60 % у квітневій строки сівби.

5. Оптимальні умови для одержання високої польової схожості на рівні 74 % та 79 % створюються за сівби на 1 см та 2 см. У випадку пересихання верхнього шару ґрунту доцільною є сівба амаранту на глибину 3 см. Сівба глибше 3 см в умовах достатнього зволоження призводить до різкого зниження польової схожості насіння. Найсприятливіші умови росту і розвитку для рослин амаранту сорту Харківський 1 склалися за норми мінеральних добрив $N_{120}P_{40}K_{80}$, за якої виживаність становила 57 % та густота рослин на час збирання – 20 шт/м². Подальше збільшення рівня удобрення призводило до зниження густоти рослин на час збирання і нижчої виживаності.

6. Кількість рослин у фазі сходів зростала з підвищенням норми висіву з 14 рослин на м² за норми висіву 0,2 млн/га до 72 рослин за норми висіву 1,2 млн/га, або на 58 рослин.

7. Густота рослин перед збиранням врожаю амаранту на 1 м² зростала із збільшенням норми висіву. Найщільніший посів було сформовано за найбільшої норми висіву 1,2 млн/га схожих насінин. Проте, внутривидова конкуренція рослин в більш загущених посівах призвела до загибелі значної частини рослин. Встановлено дуже сильний зворотній вплив ($r = - 0,97$) із збільшенням норм висіву на показник виживаності рослин амаранту. Найкращу виживаність 86 % продемонструвала норма висіву 0,2 млн/га схожих насінин.

8. Строки сівби впливали на виживаність рослин амаранту впродовж періоду вегетації. Найбільшу виживаність було отримано за сівби у червні і липні, показник виживання зріс до 88–90 %, що є на 13 - 15 % вище відносно строку 15 квітня.

9. Встановлено, що збільшення глибини сівби насіння негативно впливало на формування густоти рослин амаранту на час збирання врожаю. Найоптимальнішим параметром глибини висіву амаранту є 2 см, за якого отримано найщільніший посів – 28 шт. рослин/м².

За матеріалами даного розділу автором опубліковано наукові праці [170, 174, 175].

РОЗДІЛ 4.

ФОРМУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СТРУКТУРИ ВРОЖАЮ АМАРАНТУ ЗАЛЕЖНО ВІД ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАХОДІВ

4.1 Формування елементів структури врожаю амаранту залежно від сортових особливостей та погодних умов

Рівень урожайності зерна амаранту найбільше залежить від кількості рослин на одиниці площі та їх індивідуальної продуктивності. Кількість рослин найбільше залежить від норми висіву. Зустрічаються різні рекомендації щодо норм висіву амаранту як у ваговому вимірі (кг/га), так і в кількісному (млн/га). Більшість дослідників вказують норми висіву у кількісному вимірі.

Так, рекомендується вирощувати амарант з нормою висіву 1,0 млн/га. За таких умов на 1м рядка розміщується до 10 рослин. До збирання врожаю найкраще мати 100-150 тис рослин на га [48, 74]. За даними Рахметова Д. і Рибалки Я., рекомендована норма висіву дещо більша і має становити 1,5 млн/га за ширини міжрядь 60 см [146, 147].

Амарант відноситься до тих рослин, з якими селекційна робота розпочалась відносно недавно [39, 380]. За допомогою селекції можна значно поліпшити якість зерна амаранту та підвищити його врожайність. Велику цінність мають нові сорти, які в певних ґрунтово-кліматичних умовах переважають за врожайністю вирощувані тут сорти, враховуючи що витрати на виробництво насіння амаранту мінімальні.

За результатами дослідження І. Т. Гопцій з співавт. [29] визначено конкретний морфотип рослин цієї культури, який відповідає певному напрямку використання. Сорти зернового типу мають такі ознаки: низькорослість рослин (до 1 м), нерозгалуженість, з великою щільною або напівщільною волоттю, з високим відсотком жіночих квіток, дружним дозріванням; насіння білого, золотистого або рожевого кольору з масою 1000 насінин до 1 г, вміст сирого протеїну до 18,0–19,0 %, крохмалю – 58,0–59 %, урожайність зерна до 30 ц/га;

придатність до механізованого збирання. Зернову групу амарантів характеризують також такі ознаки, як довжина волоті, продуктивність волоті, вологість насіння під час збирання та поживні якості насіння.

Аналіз елементів структури врожаю досліджуваних сортів амаранту показує, що достатня кількість опадів забезпечила добрий вегетативний ріст. Найбільша висота рослин була в сорту Сем (207,4 см). Добрим ростом відзначалися і найурожайніші сорти: у Харківського 1 висота рослин становила 193,6 см, у сорту Лера – 195,3 см (табл. 4.1).

Таблиця 4.1.

Елементи структури врожаю сортів амаранту, середнє 2019 – 2021 рр.

№ п/п	Сорт	Висота рослини, см	Довжина волоті, см	Маса насіння з рослини, г	Маса 1000 насінин	Кількість рослин на м ² на час збирання
1	Ультра	131,5	69,4	11,0	0,78	18
2	Студентський	192,0	49,2	12,4	0,76	20
3	Харківський 1	193,6	54,5	19,2	0,88	21
4	Лера	195,3	61,0	16,4	0,76	20
5	Ацтек	171,2	55,2	11,5	0,74	19
6	Сем	207,4	60,3	15,2	0,75	18
7	Поліщук	170,0	64,7	11,6	0,85	19

В результаті проведеного кореляційно-регресійного аналізу виявлено прямий сильний вплив кількості опадів в роки досліджень на висоту стебла рослин амаранту, а саме для сортів Харківський 1, Поліщук, Ацтек коефіцієнт кореляції становив $r = 0,84$, $r = 0,83$, $r = 0,79$ та для сортів Сем, Ультра, Лера, Студентський відповідно - $r = 0,77$, $r = 0,74$, $r = 0,72$, $r = 0,70$. Також встановлено залежність між висотою рослин та температурним режимом у роки досліджень: коефіцієнт кореляції для сортів Студентський, Лера, Ультра становив $r = 0,39$, $r = 0,37$, $r = 0,34$, що свідчить про прямий зв'язок середньої сили та прямий слабкий

– для сортів Поліщук ($r = 0,20$), Сем ($r = 0,30$), Ацтек ($r = 0,27$), Харківський 1 ($r = 0,17$).

Довжина волоті була найбільша у сорту Ультра, проте цей сорт був найменш урожайним, тоді як у сорту Харківський 1 довжина волоті була однією з найкоротших, а урожайність найвищою по досліді, що є зумовлено ботаніко-морфологічними особливостями та потенціалом урожайності сортів. Між довжиною волоті та врожайністю досліджуваних сортів виявлено зворотну кореляційну залежність середньої сили - $r = -0,36$. Також, встановлено, що кількість опадів мала прямий сильний вплив на формування довжини волоті у сортів Ацтек ($r = 0,76$), Ультра ($r = 0,75$), Поліщук ($r = 0,77$), Лєра ($r = 0,71$), а у сортів Сем, Харківський 1 та Студентський коефіцієнт кореляції становив $r = 0,63$, $r = 0,54$ та $r = 0,58$ відповідно, що свідчить про прямий зв'язок середньої сили. Присутня позитивна середня кореляція між температурним режимом та формуванням довжини волоті – від $r = 0,30$ до $r = 0,57$.

Маса 1000 насінин коливалась у межах 0,74 – 0,88 г. Найкрупніше зерно було в сорту Харківський 1, що й забезпечило цьому сорту найвищу врожайність. Встановлено прямий середній зв'язок між масою 1000 насінин і врожайністю зерна амаранту - $r = 0,47$.

Просторова 3Д модель регресії (рис. 4.1) демонструє залежність маси 1000 насінин від сорту і густоти. Максимальні значення маси 1000 насінин (понад 0,95 г) досягаються при поєднанні високої густоти рослин (20-24 шт/м²) та використанні сорту Харківський 1. Найнижчі показники (менше 0,70 г) спостерігаються при низькій густоті (7,5-10 шт/м²) незалежно від сорту. Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,42$ свідчить про вплив інших факторів.

Дану залежність можна описати рівнянням регресії:

$$Y = -1,6509 + 0,0439 X_1 + 0,0153 X_2 ;$$

де Y - маса 1000 насінин;

X_1 - кількість рослин на м² на час збирання;

X_2 – сорт.

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,42$

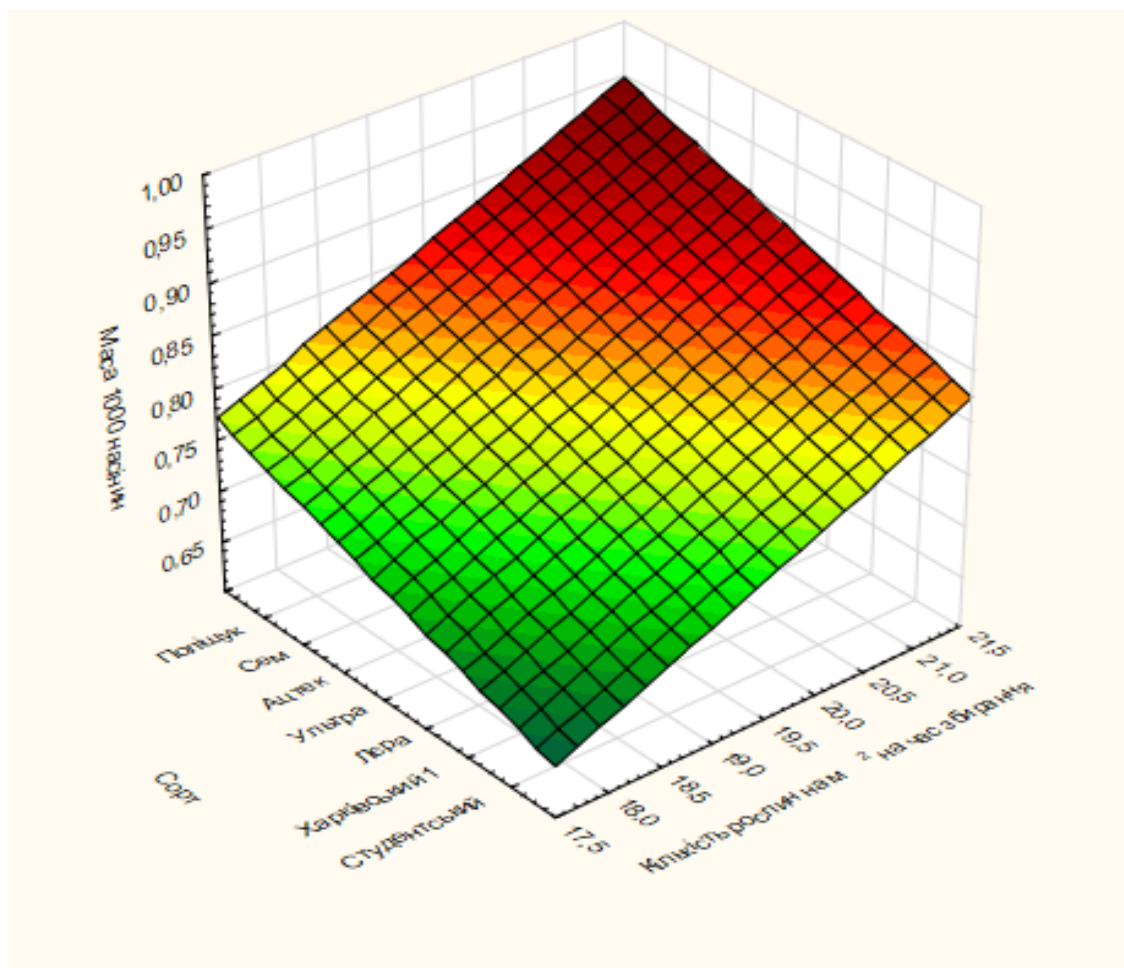


Рис. 4.1. Просторова 3Д модель регресії показника маси 1000 насінин у зв'язку зі змінами сорту амаранту і густоти рослин амаранту на час збирання (шт/м²).

Кількість рослин на м² на час збирання урожаю змінювалась у вузькому діапазоні, від 18 рослин до 21 рослини. За такої відносно невеликої кількості рослин спостерігалась закономірність: чим більша густота рослин – тим вища врожайність. Кореляційно – регресійний аналіз показав, що збільшення кількості рослин на час збирання забезпечує підвищення врожайності зерна амаранту. Коефіцієнт кореляції становив $r = 0,76$, що свідчить про прямий сильний зв'язок.

Збільшення маси насіння з однієї рослини від 10 до 19 г призводить до значного зростання врожайності. Цей фактор має більший вплив на врожайність порівняно з густотою рослин (рис. 4.2).

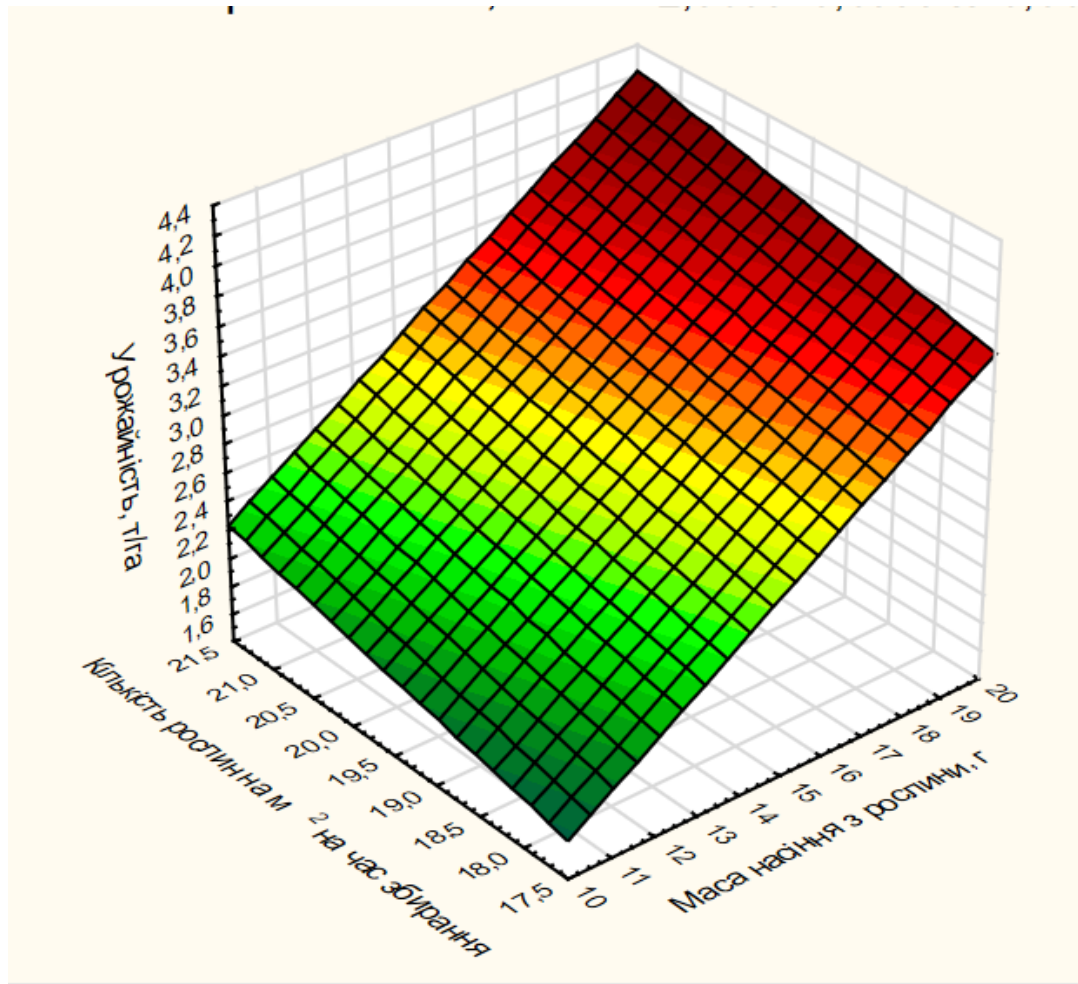


Рис. 4.2. Просторова 3Д модель регресії впливу маси насіння однієї рослини (г) і густоти рослин на час збирання (шт/м²) на врожайність зерна амаранту сорту Харківський 1 (т/га).

Найвищу врожайність (понад 4,0 т/га) забезпечує поєднання густоти рослин 20-20,5 шт/м² і маси насіння з рослини 17-19 г.

Дану залежність можна описати рівнянням регресії:

$$Y = -2,8168 + 0,142X_1 + 0,1995 X_2 ;$$

де Y - врожайність, т/га;

X_1 - кількість рослин на м² на час збирання;

X_2 - маса 1000 насінин.

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,99$

Найбільший прямий вплив на рівень урожайності зерна у сортів амаранту мала маса насіння з однієї рослини, що підтверджено коефіцієнтом кореляції $r =$

0,99. У сорту Харківський 1 маса зерна з рослини становила 19,2 г, що вище з сортом Ацтек на 7,7 г.

Між кількістю опадів за вегетаційний період та масою насіння з 1 рослини встановлена висока зворотна залежність $r = -0,84$ у сорту Ацтек, $r = -0,92$ у сортів Ультра та Поліщук, $r = -0,83$ у сорту Лера, $r = -0,90$ у сортів Студентський, Харківський 1, Сем. Також виявлено сильний прямий зв'язок між температурним режимом і масою зерна з 1 рослини: $r = 0,72$ у сортів Поліщук та Ультра, $r = 0,75$ у сортів Студентський, Харківський 1, Сем, $r = 0,82$ у сорту Ацтек та $r = 0,84$ у сорту Лера.

Отже, найбільшу врожайність у сорту Лера (3,28 т/га) одержали за густоти рослин 20 шт/м² і маси зерна з волоті 16,4 г, а в сорту Харківський 1 з найвищою урожайністю (4,03 т/га) ці елементи структури були вищими: відповідно 21 рослин/м² та масою зерна з волоті 19,2 г.

Вивчення елементів структури урожаю показало, що висота рослини мала позитивний вплив ($r = 0,63$) на рівень урожайності зерна амаранту, тоді як між довжиною волоті та урожайністю спостерігався зворотній зв'язок середньої сили ($r = -0,36$). Маса 1000 насінин у сортів коливалась в межах 0,74 – 0,88 г. Найбільший вплив на врожайність мала маса насіння з рослини (коефіцієнт кореляції $r = 0,99$). Найвища врожайність амаранту у сорту Харківський 1 формувалась за такого співвідношення основних елементів структури урожаю: кількість рослин - 21 р/м² та маса насіння з рослини – 19,2 г.

4.2 Формування елементів структури урожаю амаранту залежно від сортових особливостей та норм висіву

За даними Когута С.Г., оптимальною нормою висіву при використанні на зерно для всіх сортів амаранту є 0,9 кг/га. В середньому за три роки урожай за такої норми висіву перевищував більш зріджені посіви на 9,6-31,6 %, а більш загущені – на 21,2-38,8 %. Дослідженнями сортового складу амаранту визначено напрямки вирощування: на корм більш результативнішим є сорт Ацтек, а на зерно – Ультра. В першому випадку Ацтек перевищує Ультра на 2,1,

а в другому Ультра перевищує Ацтек на 51,6 %. Встановлені математичні моделі дозволяють зробити висновок, що оптимальною є густота стояння 54,8 рослини амаранту на 1 м² (сорт Ультра) та 44,7 рослин/м² (сорт Орхідея) [102].

Деякі вчені відзначають про прямі кореляційні зв'язки маси 1000 насінин з якістю зерна, а саме з вмістом білка [574]. Зустрічаються наукові літературні дані про негативну кореляцію урожайності насіння і урожайності листя [546]. Тому для цієї відносно нової культури потрібно вивчати і уточнювати більшість елементів технології [305]. Особливо це стосується пошуку оптимальних норм висіву для нових сортів в умовах певної ґрунтово-кліматичної зони.

Відзначається, що немає даних про оптимальну щільність рослин амаранту, багато експериментів дали різні, часом суперечливі дані. За даними Pourfarid A. і ін., для оптимізації норми висіву два генотипи *Amaranthus cruentus* (сорт Амар,) та *Amaranthus hypochondriacus* (сорт Анна), були висіяні в кількості 17, 35, 70 та 140 рослин м² з міжряддям 30 см. Результати показують вплив сорту на масу 1000 насінин, середня маса 1000 насінин для Амара становила 0,61 г і для Анни становив 0,65 г, але сорт істотно не впливає на врожайність насіння. Збільшення популяції рослин зменшило масу тисячі насінин, і в обох сортів маса 1000 насінин було найбільша за 17 рослин на м². Найвищу врожайність насіння отримано на варіанті із 140 рослин на м². Збільшення густоти рослин від 17 до 140 шт/м² призводить до зростання урожайності зерна для сорту Анна від 1197 до 8447 кг/га, а для сорту Амар - від 982 до 6685 кг/га [306].

Іншим важливим показником структури врожаю є маса насіння з однієї рослини. Вона змінювалась у значному діапазоні як під впливом норми висіву, так і сорту. Найвищою маса зерна була у сорту Харківський 1, залежно від норми висіву вона змінювалась від 34,0 г до 12,5 г (табл. 4.2). Високою продуктивністю суцвіття залишалась також у сорту Лера – від 26,6 г до 11,5 г. У сорту Сем маса зерна з рослини в середньому за нормами висіву була на рівні 14,4 г. У сортів Студентський та Ацтек вона була нижчою, відповідно 12,5 г та 12,1 г. Найнижчим цей показник був у сорту Ультра – 10,4 г.

**Маса насіння з рослини сортів амаранту залежно від норми висіву,
середнє за 2020-2022 рр., г**

Сорт	Норма висіву, млн/га схожих насінин						Середнє за сортами
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2 (контроль)	
Ультра (контроль)	17,6	11,0	9,4	8,5	8,2	7,7	10,4
Харківський 1	34,0	23,1	18,2	15,2	13,7	12,5	19,4
Ацтек	19,0	13,2	11,2	10,3	9,7	9,1	12,1
Лєра	26,6	19,7	15,6	12,6	11,9	11,5	16,3
Сем	23,6	16,6	13,9	11,6	10,8	10,2	14,4
Студентський	21,6	14,2	11,8	9,6	9,1	8,8	12,5
Середнє за нормами висіву	23,7	16,3	13,3	11,3	10,6	10,0	

Ще більше на індивідуальну продуктивність однієї рослини амаранту впливала норма висіву. Очікувано вона була найвища за меншої щільності рослин на одиниці площі, де залежно від сорту становила 17,6 – 34,0 г (табл. 4.2). Маса насіння з рослини має прямий кореляційний зв'язок з урожайністю, $r = 0,99$. Високим цей показник залишався також за норми висіву 0,4 млн/га – 11,0 – 23,1 г. За збільшення норми висіву маса насіння з рослини закономірно зменшувалась і найнижчою була на варіанті з висівом 1,2 млн/га – 7,7 – 12,5 г. Спільний вплив сорту і норми висіву виявився досить сильним, множинний коефіцієнт кореляції становив $r=0,84$.

За результатами кореляційно – регресійного аналізу встановлено помітний зворотний вплив сорту на масу насіння з рослини, коефіцієнт кореляції становив $r = -0,39$, і сильний зворотний вплив норм висіву на масу насіння з рослини, коефіцієнт кореляції становив $r = -0,74$ (рис. 4.3)..

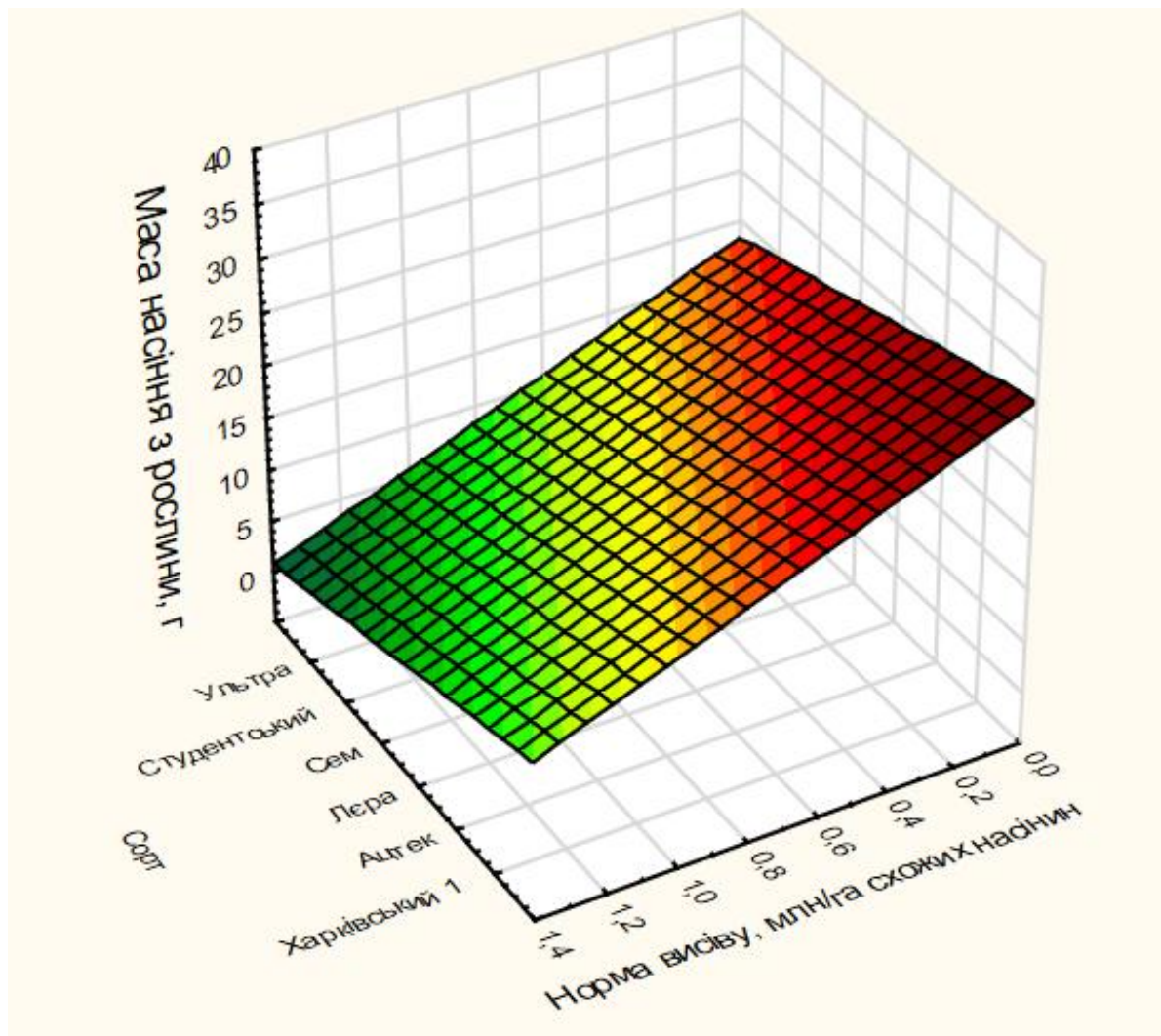


Рис. 4.3. Просторова 3Д модель регресії впливу норми висіву (млн/га схожих насінин) і сорту на масу насіння з рослини амаранту (г).

Дану залежність можна описати рівнянням регресії:

$$Y = 158,4975 - 1,309 X_1 - 12,5833 X_2;$$

де Y - маса насіння з рослини, г;

X_1 – сорт;

X_2 - норма висіву, млн/га схожих насінин.

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,70$

Найвищий рівень урожайності зерна сортів амаранту формувався за різних показників структури врожаю. У сорту Харківський 1 оптимальним їх поєднанням було 20 рослин/м² та маса насіння з рослини 23,1 г (табл. 4.3).

**Оптимальні елементи структури для формування найвищої
врожайності сортів амаранту, середнє за 2020-2022 рр.**

Сорт	Найвища врожайність, т/га	Норма висіву, насінин/м ²	Кількість рослин на м ² перед збиранням, шт	Маса насіння з рослини, г
Ультра (контроль)	2,78	100	34	8,2
Харківський 1	4,63	40	20	23,1
Ацтек	3,00	80	29	10,3
Лера	3,95	40	20	19,7
Сем	3,61	60	26	13,9
Студентський	3,18	60	27	11,8

За такої ж густоти рослин і дещо меншої маси насіння з рослин (19,7 г) одержано найбільшу врожайність у сорту Лера. Інші сорти найвищу врожайність формували за вищої густоти рослин і меншої їх індивідуальної продуктивності. Так, у сортів Ацтек та Ультра оптимальне поєднання густоти рослин і маси зерна з рослини було на рівні 29 рослин/м² та 10,3 г і 34 рослин/м² та 8,2 г відповідно. Необхідно відмітити, що за такої структури врожаю, з більшою густотою рослин, формувалась нижча урожайність зерна.

Показник маси 1000 насінин був стабільнішим і мало змінювався під впливом досліджуваних чинників. Під впливом сорту зміни були вагоміші (0,14 г), ніж під впливом норми висіву (0,04 г) (табл. 4.4).

**Маса 1000 насінин залежно від сорту та норми висіву насіння, середнє
за 2020-2022 рр., г**

Сорт	Норма висіву, млн/га схожих насінин						Середнє за сортами
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2 (контроль)	
Ультра (контроль)	0,77	0,76	0,75	0,75	0,74	0,73	0,75
Харківський 1	0,92	0,91	0,89	0,89	0,88	0,86	0,89
Ацтек	0,80	0,80	0,79	0,78	0,78	0,78	0,79
Лера	0,84	0,84	0,82	0,82	0,81	0,80	0,82
Сем	0,84	0,83	0,81	0,81	0,80	0,79	0,81
Студентський	0,80	0,80	0,79	0,78	0,76	0,76	0,78
Середнє за нормами висіву	0,83	0,82	0,81	0,80	0,80	0,79	

Встановлено сильний зворотний вплив сортових особливостей досліджуваних сортів амаранту на масу 1000 насінин, коефіцієнт кореляції становив $r = -0,77$. Найвищою вона була у найурожайнішого сорту Харківський 1, де залежно від норми висіву коливалась у межах 0,86 – 0,92 г. Високою залишалась маса 1000 насінин також у сортів Лера та Сем, в середньому за нормами висіву, відповідно, 0,82 г та 0,81 г. У сортів Ацтек, Студентський та Ультра маса 1000 насінин була нижчою і становила 0,79 г; 0,78 г; 0,75 г.

Маса 1000 насінин закономірно знижувалась у всіх сортів амаранту за збільшення норми висіву. Якщо на варіанті з висівом 0,2 млн/га у сорту Харківський 1 вона була найвищою у досліді і становила 0,92 г, то за висіву 1,2 млн/га знизилась до 0,86 г, або на 0,06 г. Найменше змінювалась маса 1000 насінин під впливом норми висіву у сорту Ацтек – з 0,80 г до 0,78 г, або лише на 0,02 г. У загальному за нормами висіву сортів варіанти відрізнялись між собою на 0,01 г.

Регресійна модель (рис. 4.4) описує залежність маси 1000 насінин амаранту від сорту та норми висіву насіння.

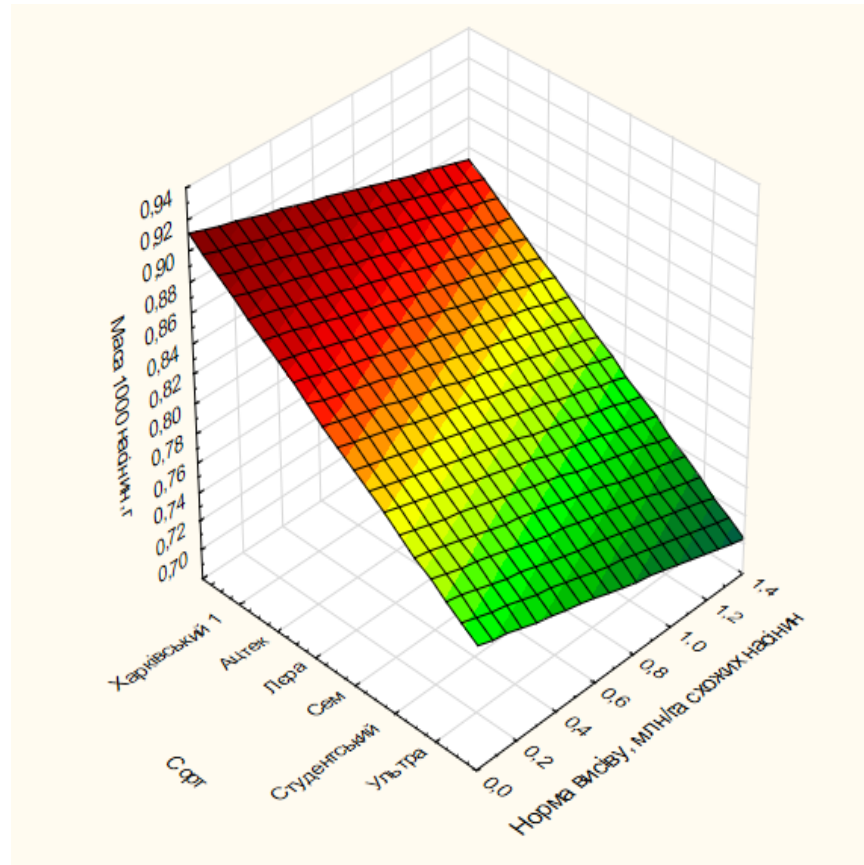


Рис. 4.4. Просторова 3Д модель регресії впливу норми висіву (млн/га схожих насінин) і сортових особливостей амаранту на масу 1000 насінин (г).

Дану залежність можна описати рівнянням регресії:

$$Y = 3,0159 - 0,021 X_1 - 0,0424 X_2;$$

де Y - маса 1000 насінин, г;

X_1 - сорт;

X_2 - норма висіву (млн/га схожих насінин).

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,69$

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,69$ свідчить, що модель пояснює 69% варіабельності маси 1000 насінин, що є прийнятним результатом для агрономічних польових досліджень, де на ознаку впливає значна кількість неврахованих факторів середовища. Решта 31% варіабельності зумовлена

іншими чинниками, не включеними в модель, такими як погодні умови, агрохімічні властивості ґрунту, особливості агротехніки та випадкові помилки вимірювання. Тривимірна поверхня демонструє плавну зміну маси насінин. Градієнт від червоного до зеленого кольору відображає зменшення маси насінин при збільшенні обох факторів, причому більш інтенсивна зміна спостерігається вздовж осі норми висіву, що підтверджується більшим за абсолютною величиною коефіцієнтом регресії для цього фактора.

Спільний вплив сорту і норми висіву на формування маси 1000 насінин виявився досить сильним, що підтверджує множинний коефіцієнт кореляції $R=0,83$.

Подібні дані щодо формування маси 1000 насінин досліджуваними сортами амаранту одержали також Гусєв М. Г. і Войташенко Д. П. [48]. За результатами досліджень в умовах Лівобережного Лісостепу України маса 1000 насінин коливалася, залежно від умов року, та становила в сорту Ультра 0,51 – 0,68 г та у сорту Студентський – 0,57 – 0,71 г.

За детальнішого аналізу впливу норм висіву на формування елементів структури врожаю сорту амаранту Харківський 1 встановлено, що маса насіння з однієї рослини була найбільшою на варіанті з нормою висіву 0,2 млн/га і становила 34,1 г (табл. 4.5).

Таблиця 4.5.

Елементи структури врожаю амаранту сорту Харківський 1 залежно від норми висіву, середнє за 2020 – 2022 рр.

Норма висіву, млн/га схожих насінин	Висота рослини, см	Довжина волоті, см	Маса насіння з рослини, г	Маса 1000 насінин, г
0,2	182	68	34,1	0,91
0,4	182	67	20,4	0,91
0,6	180	64	16,1	0,88
0,8	180	58	14,1	0,87
1,0	178	53	12,6	0,86
1,2	170	50	11,7	0,86

Індивідуальна продуктивність рослин амаранту тут найвища, що пояснюється тим, що на м² було лише 12 рослин, які мали найбільшу площу живлення і кращі умови для сонячної асиміляції, що забезпечили збільшення процесу фотосинтетичної діяльності. За норми висіву 0,4 млн/га маса насіння з рослини знизилась до 20,4 г. Збільшення густоти стояння рослин призводило до подальшого зниження цього показника.

За результатами кореляційно-регресійного аналізу встановлено сильний і дуже сильний зворотній зв'язок між нормами висіву та показниками структури урожаю. Зокрема, коефіцієнт кореляції між нормами висіву та висотою рослин становив $r = -0,85$, між нормами висіву і масою насіння 1 рослини - $r = -0,87$, між нормами висіву та довжиною волоті - становив $r = -0,98$ між нормами висіву і масою 1000 насінин коефіцієнт кореляції становив $r = -0,95$. Встановлено сильний зв'язок між висотою рослин і довжиною волоті, та висотою рослин і масою 1000 насінин, коефіцієнт кореляції становив $r = 0,85$ і $r = 0,72$ відповідно, та середній зв'язок між висотою рослини і масою насіння з рослини - $r = 0,59$. Між довжиною волоті та масою насіння з рослини коефіцієнт кореляції становив $r = 0,78$, між довжиною волоті і масою 1000 насінин - $r = 0,93$, що свідчить про сильний і дуже сильний зв'язок. Сильний зв'язок відмічено між масою насіння з однієї рослини і масою 1000 насінин, $r = 0,85$.

Маса 1000 насінин мало залежала від норми висіву, змінюючись у межах 0,86 – 0,91 г. Збільшення площі живлення за менших норм висіву призводить до інтенсивнішого росту і формування вищих рослин (на 12 см). Довжина волоті теж зростала на варіантах з нижчою нормою висіву.

Найвища врожайність формується за такого поєднання основних елементів структури врожаю: кількість рослин на одиниці площі – 21шт/м² та 26 шт/м² і маса зерна з однієї рослини – 20,4 г та 16,1 г.

Маса насіння з рослини була найвищою (17,6 – 34,0 г) у всіх сортів за норми висіву 0,2 млн/га. Серед сортів амаранту найбільшою індивідуальною продуктивністю (12,5 – 34,0 г) за всіх норм висіву характеризувався сорт Харківський 1.

Оптимальним поєднанням елементів структури врожаю для формування найвищої продуктивності у сорту Харківський 1 було 20 рослин/м² і маса насіння з рослини 23,1 г. За такої ж густоти рослин і дещо меншої маси насіння з рослин (19,7 г) одержано найбільшу врожайність у сорту Лера. Інші сорти вищу врожайність формували за меншої маси зерна з рослини і більшої кількості рослин на м².

Маса 1000 насінин амаранту більше змінювалась під впливом сорту (0,14 г), ніж під впливом норми висіву (0,04 г). Найвищою вона була у найурожайнішого сорту Харківський 1, де залежно від норми висіву коливалась у межах 0,86 – 0,92 г. Збільшення норми висіву до 1,2 млн/га призводило до зменшення маси 1000 насінин до 0,79 г, тоді як за норми висіву 0,2 млн/га вона становила 0,83 г.

4.3 Елементи структури врожаю амаранту залежно від глибини сівби

Встановлення оптимальної глибини сівби необхідно для досягнення максимальної урожайності зерна амаранту. Вивчення впливу різної глибини сівби на ріст, розвиток та продуктивність рослин амаранту дозволить підвищити ефективність його вирощування та забезпечити стабільний урожай за різних агрокліматичних умов.

Глибина сівби впливає на особливості росту кореневої системи рослини. Коренева система у амаранту має унікальну будову. Формується два види коренів: мичкуватий, що вбирає вологу з верхнього шару ґрунту та стрижневий, який може проникати до 7-ми метрової глибини. Це одне з пояснень надзвичайно високої посухостійкості амаранту. Частка стрижневого кореня при цьому становить близько 50 % від загальної маси кореневої системи, корені I-го порядку – 18–20 %, II-го порядку – 30–32 %. Бокові корінці розходяться, як правило, в боки на 20–25 см, рідше – до 60 см. Основна частина кореневої системи розміщується в шарі ґрунту 25–40 см [39; 96].

За результатами проведених досліджень, глибина загортання насіння амаранту мало впливала на висоту рослин за сівби на 1-3 см.

Висота рослин зменшувалась на варіантах з глибоким загортанням насіння на 4 см та 5 см. Це можна пояснити тривалішим проростанням, запізненням зі появою сходів порівняно з мілкою сівбою на 7-10 днів і більше. Рослини, які зійшли пізніше, відставали в рості впродовж вегетації і були низькорослішими, порівняно з сівбою на оптимальну глибину 1-3 см (табл. 4.6).

Таблиця 4.6

Елементи структура урожаю амаранту сорту Харківський 1 залежно від глибини сівби, (середнє за 2022-2024 рр.).

Глибина сівби, см	Кількість рослин, шт/м ²	Довжина волоті, см	Висота стебла, см	Маса насіння з рослини, г	Маса 1000 насінин, г
1	27	63	208	14,3	0,82
2	28	65	211	14,4	0,84
3	25	64	209	14,4	0,81
4	19	53	200	13,6	0,72
5	15	42	181	12,3	0,70

У дослідженнях з вивченням глибини сівби довжина волоті закономірно зменшувалась при збільшенні глибини загортання насіння, про що свідчить коефіцієнт кореляції ($r = 0,97$). Так, за сівби на 1-3 см вона становила 63-65 см, а за глибини загортання насіння 4 см і 5 см лише 53 см і 42 см. Це можна пояснити тим, що рослини на останніх двох варіантах виходили на поверхню ґрунту пізніше, ослабленими і відставали в рості.

Маса насіння з однієї рослини була вища на варіантах з оптимальною глибиною загортання. За результатами кореляційно-регресійного аналізу встановлено сильний вплив густоти стояння та довжини волоті на масу насіння амаранту однієї рослини, про що свідчать коефіцієнти кореляції $r = 0,94$ та $r = 0,99$ відповідно. Відносно незначна різниця (0,8–2,1 г) між варіантами з глибиною сівби на 1-3 см та 4-5 см можна пояснити набагато меншою кількістю

рослин на варіантах з більшою глибиною сівби. За сівби на 1-3 см рослини інтенсивно розвиваються уже на старті росту, швидше формують фотосинтетичну поверхню. Внаслідок цього в них розвивається більша коренева система, порівняно з рослинами на варіантах з глибокою сівбою. Зростає площа живлення, вони краще забезпечені вологою, світлом, можуть засвоїти необхідну кількість елементів живлення з більшої площі.

Графічна модель (рис. 4.5.) демонструє, що площина регресії маси насіння з рослини знижується із збільшенням глибини загортання насіння.

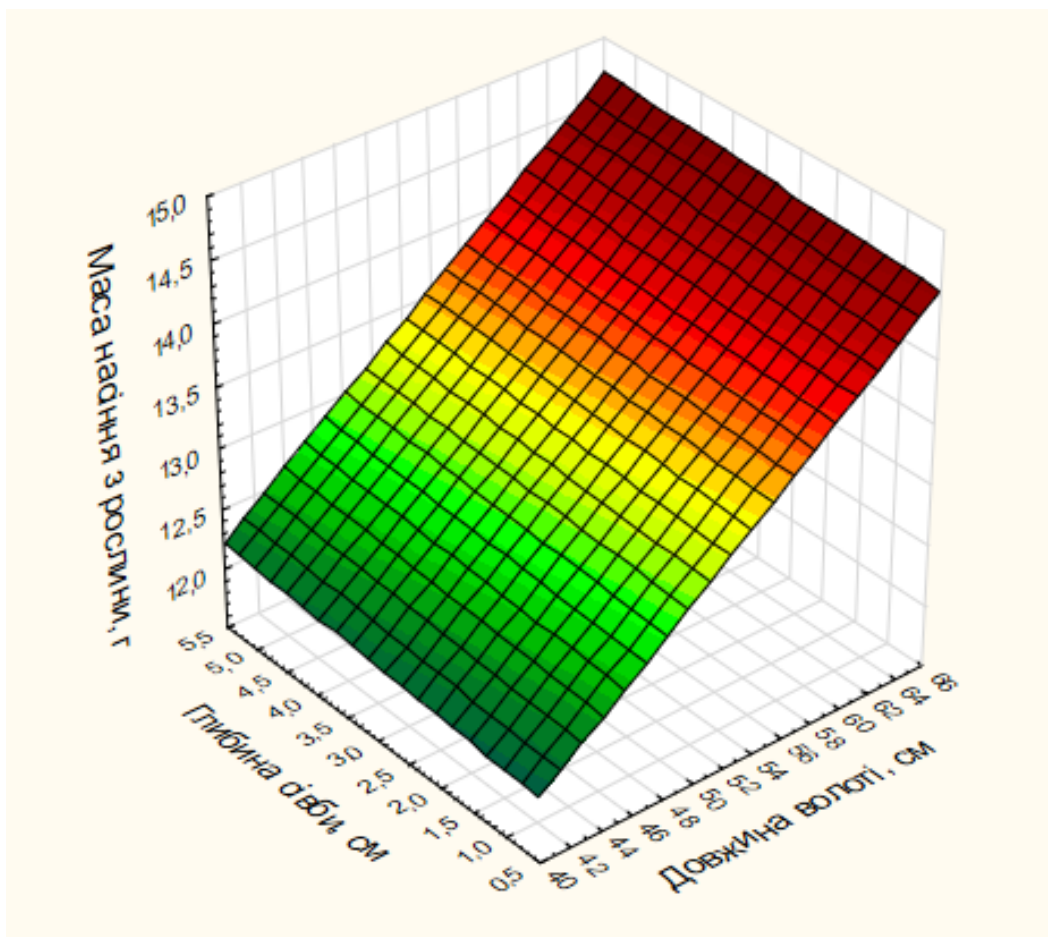


Рис. 4.5. Просторова 3Д модель регресії впливу глибини сівби (см) і довжини волоті (см) амаранту на масу насіння з рослини (г).

Дану залежність можна описати рівнянням регресії:

$$Y = 8,1666 + 0,0961 X_1 + 0,039 X_2 ;$$

де Y - маса насіння з рослини, г;

X_1 - довжина волоті, см;

X_2 - глибина сівби, см;

Коефіцієнт детермінації $R^2=0,98$

Маса 1000 насінин теж була найвищою за глибини сівби в межах 1-3 см, де вона становила 0,81-0,84 г. За глибини сівби на 4-5 см цей показник різко зменшувався до 0,72-0,70 г. Відмічено сильний вплив густоти рослин, довжини волоті та маси насіння 1 рослини на формування маси 1000 насінин амаранту, про що свідчать коефіцієнти кореляції $r = 0,99$, $r = 0,95$, $r = 0,90$ відповідно. Встановлено сильний зворотний зв'язок між глибиною сівби та масою 1000 насінин досліджуваного сорту, коефіцієнт кореляції становив $r = -0,90$.

Представлена тривимірна регресійна модель описує комбінований вплив глибини сівби та густоти рослин амаранту на масу 1000 насінин (рис. 4.6).

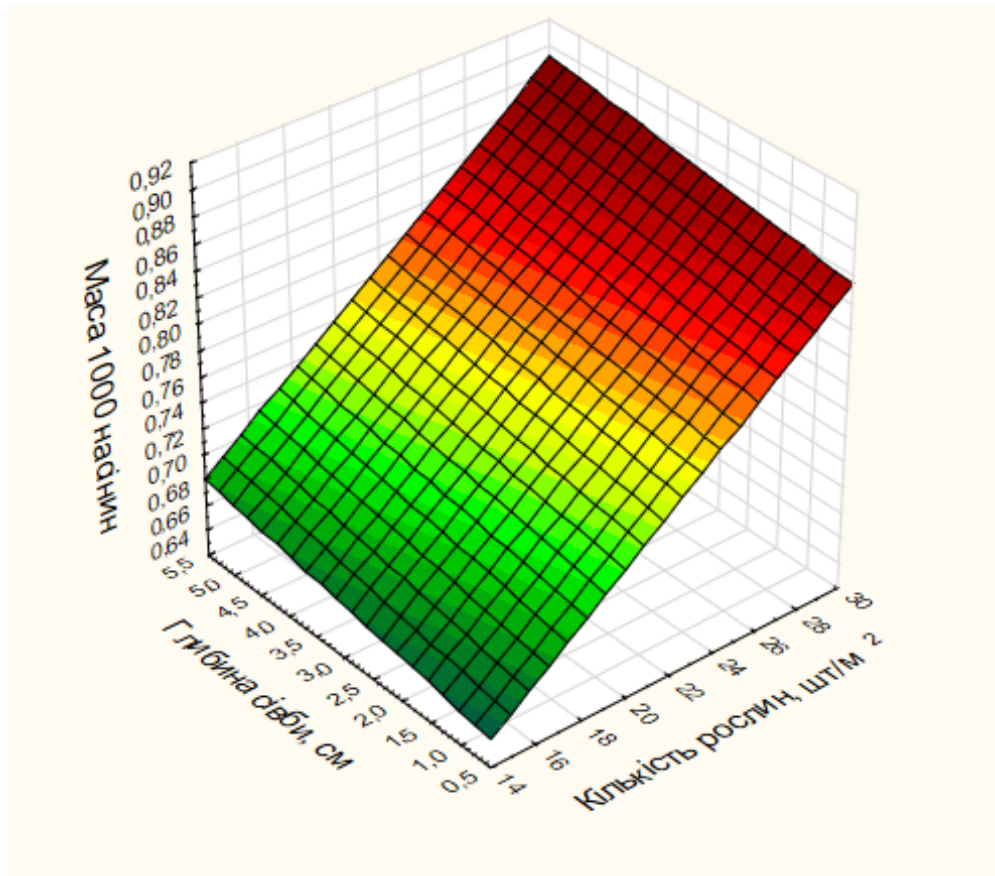


Рис. 4.6. Просторова 3Д модель регресії впливу глибини сівби (см) і густоти рослин (шт/м²) на масу 1000 насінин (г).

Дану залежність можна описати рівнянням регресії:

$$Y = 0,4541 + 0,0132 X_1 + 0,0076 X_2;$$

де Y - маса 1000 насінин;

X_1 - кількість рослин, шт/м²;

X_2 - глибина сівби, см.

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,98$

Модель характеризується надзвичайно високим коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0,98$, що свідчить про те, що досліджувані фактори пояснюють 98% варіабельності маси насінин, залишаючи лише 2% на вплив неврахованих чинників. За представленою моделлю максимальна маса 1000 насінин прогнозується за поєднання максимальної густоти рослин та максимальної глибини сівби.

Біологічна врожайність амаранту визначається двома найголовнішими показниками: кількість рослин на м² та маса зерна з рослини. Відповідними цілеспрямованими елементами технології можна збільшувати як кількість рослин на одиниці площі так і продуктивність волоті. У більшості випадків два цих головних елементів продуктивності розвиваються у протилежних напрямках. Збільшення густоти рослин призводить до зменшення маси зерна з волоті, і навпаки. Тому необхідне їх оптимальне поєднання, яке може бути досить різним.

В наших дослідженнях, найвища біологічна врожайність зерна амаранту сорту Харківський 1 формувалась за сівби на 2 см – 3,88 т/га (рис. 4.7). Вона зменшувалась на 0,21 т/га за сівби на глибину 1 см та на 0,41 т/га при загортанні насіння на глибину 3 см. За сівби на 4 см та 5 см урожайність дуже зменшувалась у півтора-два рази, відповідно до 2,37 т/га та 1,62 т/га, або на 1,51 т/га та 2,26 т/га.

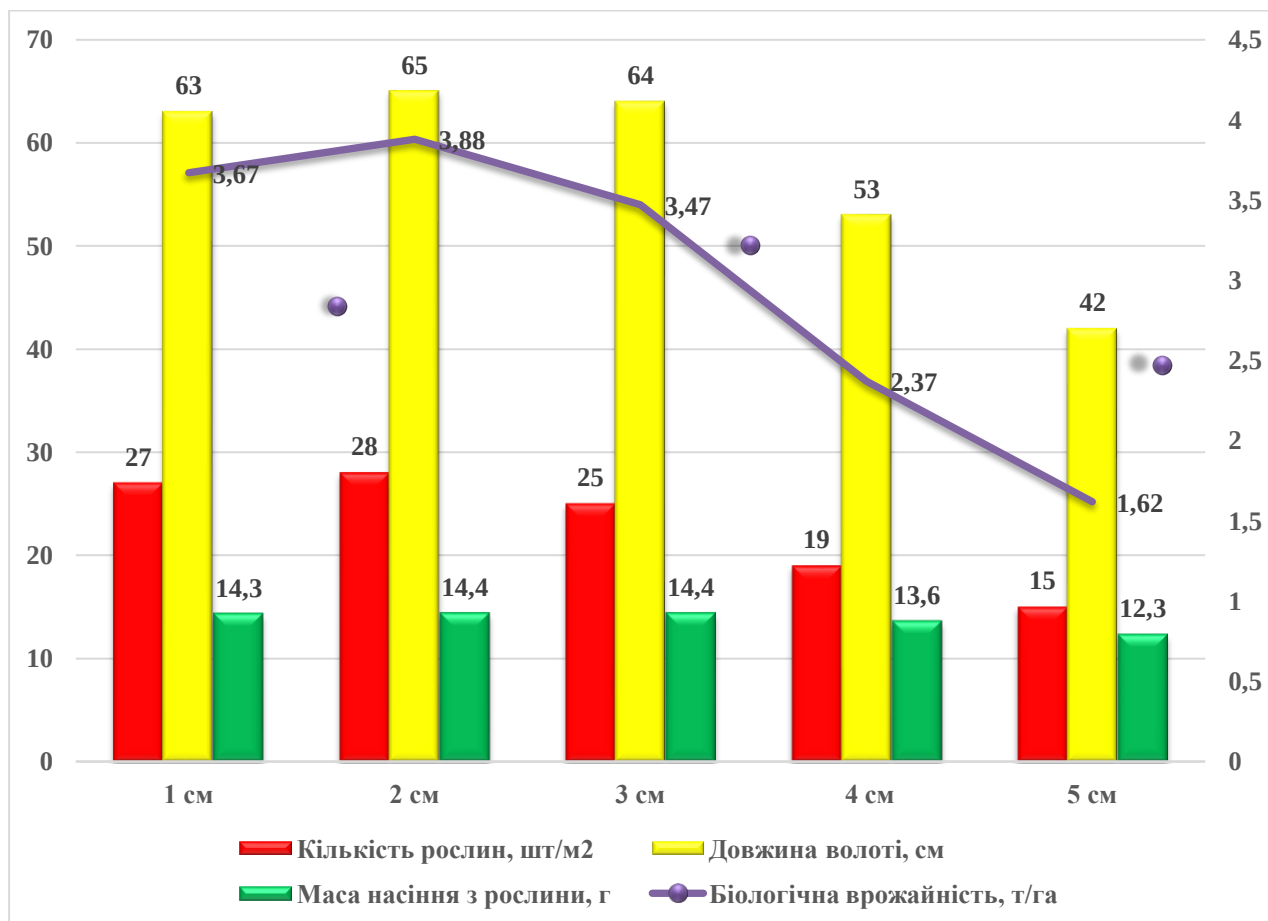


Рис. 4.7. Вплив глибини сівби та елементів структури врожаю на біологічну врожайність амаранту сорту Харківський 1, (середнє за 2022-2024 рр.).

На основі результатів досліджень, можемо стверджувати, що незважаючи на високу посухостійкість амаранту, у регіонах з кращим забезпеченням вологою урожайність зеленої маси та зерна амаранту вищі.

За результатами кореляційно-регресійного аналізу встановлено сильний вплив на формування біологічної врожайності сорту амаранту Харківський 1 густоти стояння ($r = 0,99$), довжини волоті ($r = 0,98$), маси насіння з рослини ($r = 0,96$), маси 1000 насінин ($r = 0,99$). Між біологічною врожайністю та глибиною сівби відмічено сильний зворотний зв'язок ($r = -0,92$).

Дані закономірності достовірно описують рівняння регресії (табл. 4.7).

**Кореляційно-регресійна залежність між біологічною врожайністю (Y) та
елементами структури врожайності**

Рівняння регресії	Елемент структури врожайності	Коефіцієнт кореляції	Коефіцієнт детермінації, %
$Y = -11,14 + 1,0248X_1$	Маса насіння з рослини, г	0,96	0,96
$Y = -2,538 + 0,09652X_2$	Довжина волоті, см	0,98	0,98
$Y = -0,9409 + 0,17293X_3$	Кількість рослин, шт/м ²	0,99	0,99
$Y = 4,6850 - 0,5610X_4$	Глибина сівби, см	-0,92	0,92
$Y = -8,703 + 15,045X_5$	Маса 1000 насінин, г	0,99	0,98

Найвищу біологічну врожайність (3,88 т/га) амаранту сорту Харківський 1 забезпечила глибина сівби 2 см. Таку урожайність одержано за густоти рослин 28 шт/м², довжини волоті 65 см, маси насіння з рослини 14,4 г, маси 1000 насінин 0,84 г. Подальше збільшення глибини негативно вплинуло на показники елементів структури та призвело до зниження врожайності.

4.4 Вплив строків сівби на формування елементів структури врожаю амаранту

Строки сівби сильно впливали на ріст і розвиток рослин та їхню врожайність. Висота рослин за ранніх строків сівби у квітні-травні коливалась в межах 190–198 см. Сорт Лера у наших дослідженнях був і більш високорослим, але в 2021-2023 рр. були менш сприятливі погодні умови для наростання біомаси. За пізніших строків сівби висота рослин зменшувалась, особливо за сівби в червні (табл. 4.8).

**Елементи структури врожаю амаранту сорту Лєра залежно від строку
сівби, середнє за 2021-2023 рр.**

Строки сівби	Висота рослини, см	Довжина волоті, см	Маса насіння з рослини, г	Маса 1000 насінин, г	Біологічна врожайність, т/га
15 квітня	195	58	18	0,82	3,06
30 квітня	198	65	21	0,89	3,78
15 травня	197	63	15	0,87	3,30
30 травня	190	56	12	0,79	2,64
15 червня	181	48	6	0,70	1,56
30 червня	175	40	3	0,52	0,78
15 липня	152	34	-	-	-
30 липня	137	30	-	-	-

В результаті проведеного кореляційно-регресійного аналізу виявлено зворотній сильний вплив строків сівби на висоту стебла рослин амаранту і довжину волоті: коефіцієнт кореляції становив $r = -0,92$, $r = -0,93$ відповідно. Довжина волоті відзначалася найбільша у високорослих рослин і за сівби 30 квітня вона становила 65 см. За сівби в липні волоть формувалась значно менша.

Дуже важливим показником структури врожаю є маса насіння з рослини. Саме за цим показником і кількістю рослин на 1 м² перед збиранням визначається біологічна врожайність зерна амаранту. Маса насіння з рослини знижувалась із пізнішими строками сівби. Це підтверджено результатами кореляційно-регресійного аналізу: коефіцієнт кореляції становив $r = -0,96$, що свідчить про зворотній сильний зв'язок (рис. 4.9). За сівби 30 квітня рослини мали найкращі умови для формування високоврожайних посівів. Так, маса насіння з рослини на цьому варіанті найвища і становить 21 г. Високою вона залишається також за сівби 15 квітня та 15 травня. Пізні строки сівби амаранту у червні та липні не забезпечують формування належного рівня врожайності. Тут маса

насіння з рослини дуже низька – 3–6 г. А за сівби 15 та 30 липня в умовах західного Лісостепу України зерно не формувалось ні жодного року.

Маса 1000 насінин теж була більша на варіантах з тривалішою вегетацією ($r = -0,89$). За сівби у період 15 квітня – 15 травня маса 1000 насінин найвища і становила 0,82–0,89 г. За літніх строків сівби формується щупле, дуже дрібне зерно.

Найвища біологічна врожайність зерна амаранту 3,78 т/га була на варіанті за поєднання таких елементів структури врожаю: 18 рослин/м² x 21 г насіння з рослини. В результаті кореляційного аналізу встановлено сильний зворотний вплив строків сівби на формування біологічною врожайністю зерна амаранту ($r = -0,94$).

Площина регресії (рис. 4.8) демонструє швидке збільшення маси 1000 насінин амаранту сорту Лера за ранніх строків сівби і мінімальні зміни показника маси при різних значеннях висоти стебла.

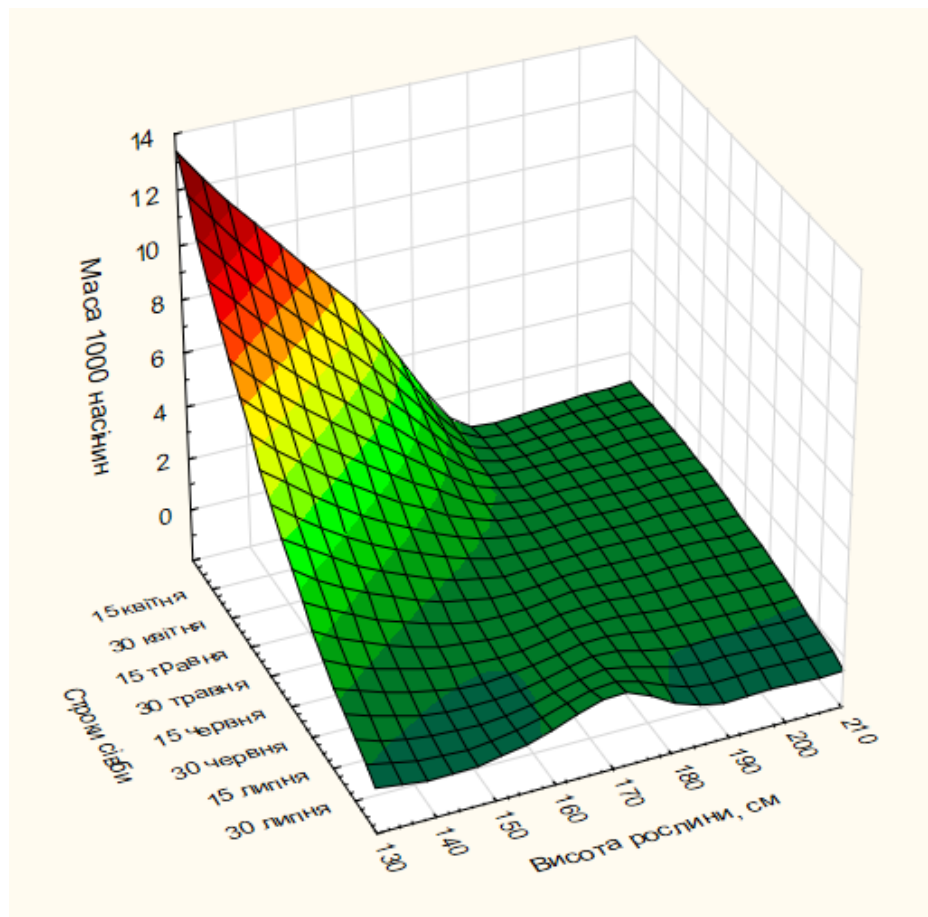


Рис. 4.8. Просторова 3Д модель регресії впливу строків сівби і висоти рослин (см) на масу 1000 насінин (г) амаранту сорту Лера.

Дану залежність достовірно описують рівняння регресії:

$$Y = -3,869 + 0,0128 X_1 + 0,0174 X_2;$$

де Y - маса 1000 насінин, г

X_1 - Строки сівби

X_2 - Висота рослин, см

Коефіцієнт детермінації: $R^2 = 0,96$

Множинний коефіцієнт кореляції $r = 0,98$ свідчить про дуже сильний спільний вплив строків сівби і висоти рослин амаранту на формування маси 1000 насінин.

У дослідженнях Гудковської Н. та Гопцій Т., в умовах Харківської області маса 1000 насінин була найменшою у сорту Ультра, 0,51 г, за четвертого строку висівання і рядковому способу сівби, а у сорту Студентський (0,53 г) – за другого строку сівби широкорядних посівів [44].

Отже, пізніші строки сівби негативно впливали на формування елементів структури врожаю амаранту сорту Лера. Маса насіння з рослини (21 г), від якої найбільше залежить рівень урожайності, була найбільшою за сівби 30 квітня.

4.5 Елементи структури врожаю амаранту залежно від способів сівби

Оптимальна густота рослин амаранту на одиниці площі визначається не тільки нормою висіву, а й площею живлення, що формується в результаті застосування того чи іншого способу сівби. Змінюючи структуру агробіоценозу за допомогою способів сівби, можна цілеспрямовано впливати на водний, повітряний, світловий і поживний режими посівів. За меншої ширини міжрядь рослини рівномірніше розміщуються на площі, збільшення відстані між рядками призводить до щільнішого розміщення рослин у рядку.

Густота рослин перед збиранням показник, який мало залежав від способу сівби. Зменшувалась кількість рослин до 22 шт./м² за щільнішого їх стояння в рядку внаслідок зниження рівня виживання рослин. Так, за відстані між рядками 60 см на одному метрі довжини рядка було 13 рослин з відстанню між ними 8 см,

а за сівби з міжряддями 15 см – лише 4 рослини з відстанню між ними 25 см. За більшої відстані між рослинами були кращі умови для їх росту і розвитку. Важливо також порівняти схематичну площу живлення однієї рослини, яку ми отримуємо за різних способів сівби. За міжрядь 45 см та 60 см умовна площа живлення є у вигляді сильно витягнутого прямокутника з сторонами 60×8 см та 45×10 см. За сівби з міжряддями 15 см та 30 см, площа живлення більш компактна з меншою різницею між довжиною сторін прямокутника – 15×25 см та 30×14 см.

Певними цілеспрямованими елементами технології можна збільшувати як густоту рослин на одиниці площі так і масу зерна з однієї волоті. У більшості випадків два цих головних елементи продуктивності розвиваються у протилежних напрямках. Збільшення густоти рослин призводить до зменшення маси зерна з волоті, і навпаки. Тому необхідне їх оптимальне поєднання, яке може бути досить різним.

У наших дослідженнях способи сівби впливали на елементи структури врожаю амаранту сорту Лера. Кількість рослин на одиниці площі залежала від способу сівби і коливалась в межах 22-24 рослини/м². Внаслідок оптимізації площі живлення за сівби з міжряддями 15 см та 30 см, на цих варіантах формувалась довша волоть – 68 см. Інший важливий показник, маса насіння з рослини була найвищою (18,0 г) за ширини міжрядь 45 см. Зменшення цього показника за сівби з міжряддями 15 см та 30 см пояснюється тим, що на цих варіантах була дещо більша густота рослин до збирання.

Способи сівби впливали на елементи структури врожаю амаранту. Внаслідок оптимізації площі живлення, більша висота рослин була за сівби з міжряддями 15 см та 30 см. За цих умов формувалась також довша волоть – 68 см. Маса насіння з рослини була найвищою (17,8 г) за ширини міжрядь 45 см. Зменшення цього показника за сівби з міжряддями 15 см та 30 см пояснюється тим, що на цих варіантах була більша густота рослин до збирання. Маса 1000 насінин теж підвищувалась за зменшення загущення рослин, тобто їх кількості у рядку (табл. 4.9).

Елементи структури врожаю амаранту сорту Лера залежно від способу сівби, середнє за 2021–2023 рр.

Спосіб сівби	Кількість рослин, шт/м ²	Довжин а волоті, см	Висота рослини, см	Маса насіння з рослини, г	Маса 1000 насінин, г	Біологічна врожайність, т/га
15 см	24	68	186	16,9	0,92	4,06
30 см	23	68	184	17,8	0,90	4,09
45 см	22	65	182	18,0	0,88	3,96
60 см	22	63	182	17,4	0,87	3,83

Маса 1000 насінин змінювалась під впливом способу сівби. Лінійна пряма прогнозує подальше зниження маси 1000 насінин амаранту сорту Лера із збільшенням ширини міжряддя (рис. 4.9).

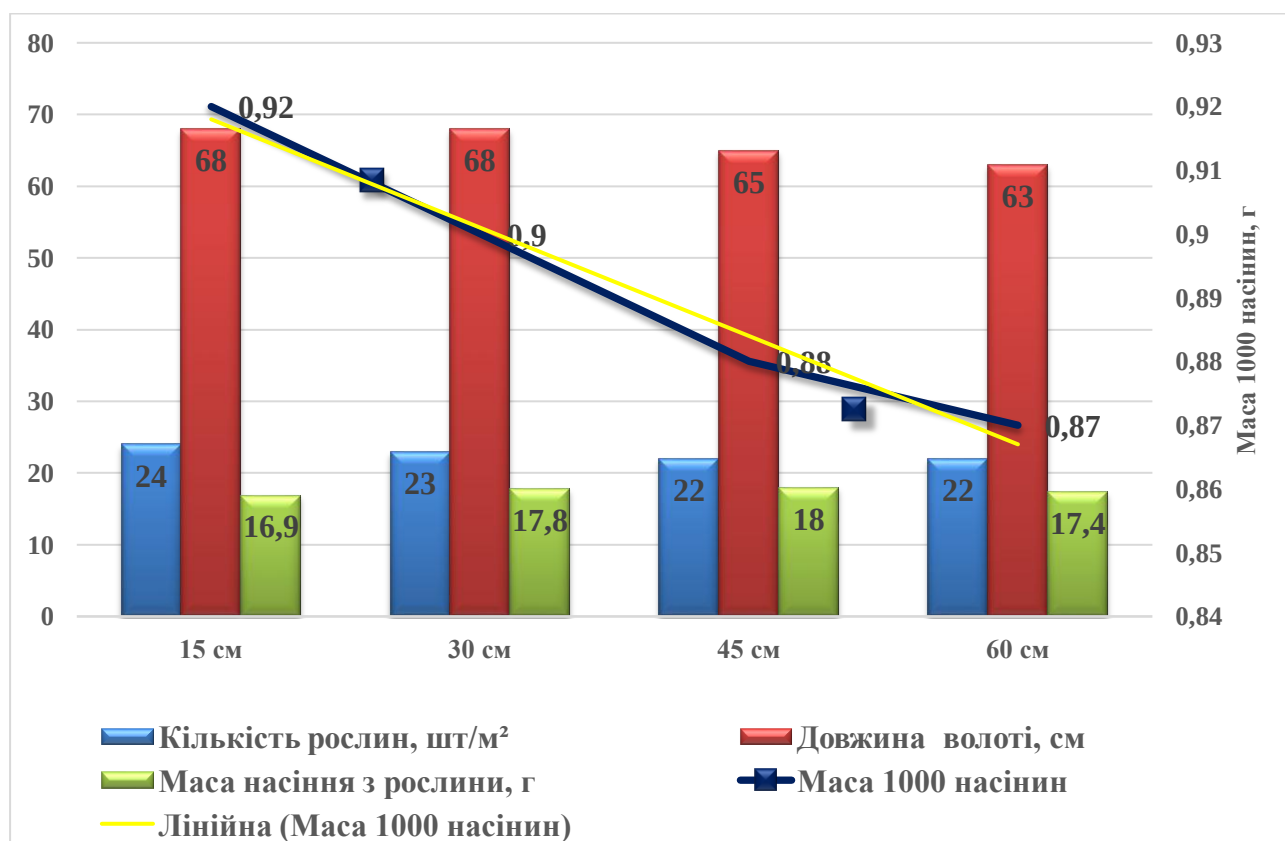


Рис. 4.9. Маса 1000 насінин залежно від способу сівби та елементів структури врожаю амаранту сорту Лера, (середнє за 2021-2023 рр.).

Дану закономірність можна виразити регресійним рівнянням:

$$Y = 0,017 X + 0,935;$$

де Y - маса 1000 насінин, г ;

X - спосіб сівби.

Коефіцієнт детермінації: $R^2 = 0,98$.

За результатами кореляційно-регресійного аналізу встановлено сильний зворотний вплив способу сівби на масу 1000 насінин амаранту, про що свідчить коефіцієнт кореляції $r = -0,99$.

Кількість рослин на m^2 також мала сильний вплив на формування крупності насіння: зменшення густоти рослин у рядку сприяла збільшенню маси 1000 насінин. Про що свідчить коефіцієнт кореляції $r = 0,98$ (рис. 4.10).

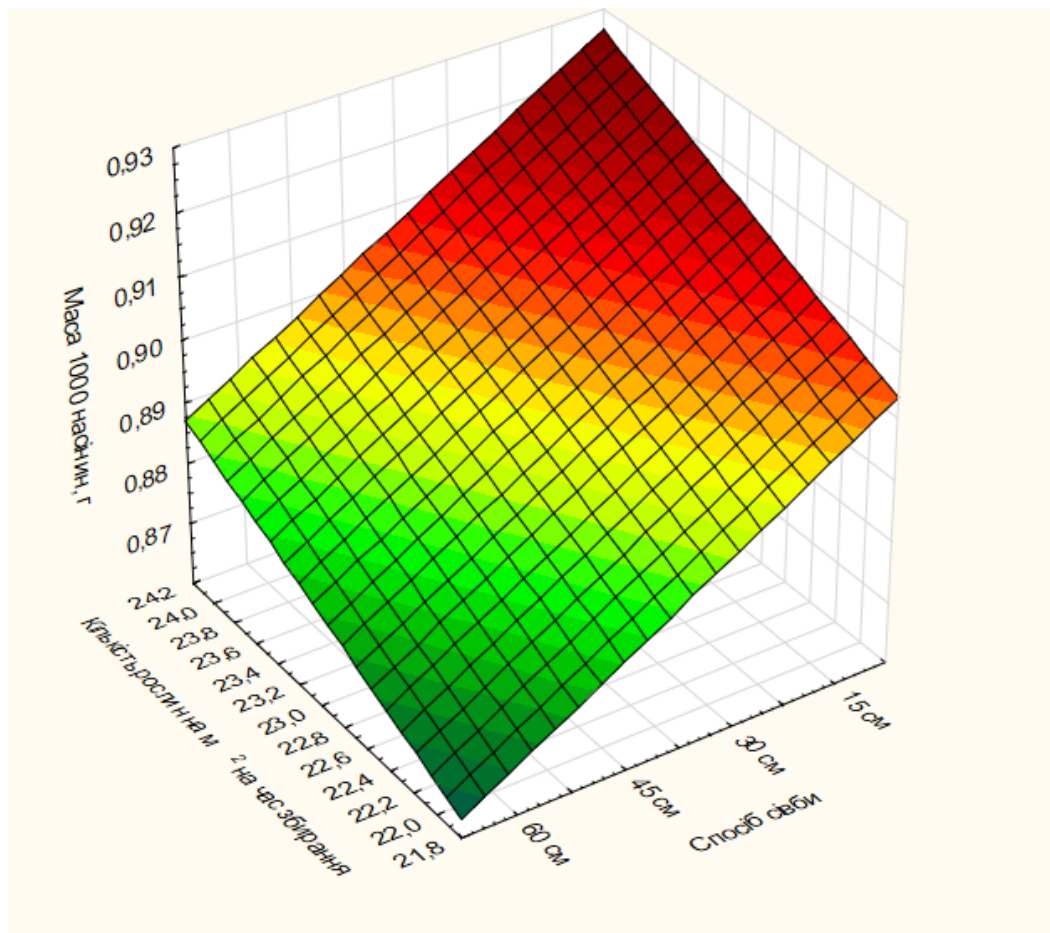


Рис. 4.10. Просторова 3Д модель регресії впливу способу сівби і густоти рослин (шт/ m^2) на масу 1000 насінин (г) амаранту сорту Лера.

Дану закономірність достовірно описує рівняння регресії:

$$Y = 0,37545 + 0,02273 X;$$

де Y - маса 1000 насінин, г ;

X - кількість рослин, шт/м².

Коефіцієнт детермінації: $R^2 = 0,96$.

Біологічна врожайність зерна амаранту за сівби з міжряддями 15 см, 30 см була майже на одному рівні 4,06 та 4,09 т/га. За відстані між рядками 45 см вона зменшилась лише на 0,13 т/га, а за сівби на 60 см – на 0,26 т/га. Відмічено сильний прямий вплив довжини волоті на формування біологічної врожайності, коефіцієнт кореляції становив $r = 0,98$. Рівняння регресії виглядає наступним чином:

$$Y = 0,86833 + 0,04722X$$

де Y - біологічна врожайність, т/га;

X - довжина волоті, см.

Коефіцієнт детермінації: $R^2 = 0,97$.

Отже, в умовах достатнього зволоження Лісостепу західного, найвищі показники густоти рослин (23-24 р/м²), довжини волоті (68 см), маси 1000 зерен (0,90-0,92 г) та біологічна урожайність (4,06-4,09 т/га) зерна амаранту сорту Лєра формувались за сівби з шириною міжрядь 15 см і 30 см. Густота рослин перед збиранням була в межах 22-24 рослини/м² і мало залежала від способу сівби. За сівби з вузькими міжряддями рослини розміщувались більш рівномірно на площі та в рядках. Найбільша маса насіння з однієї рослини (17,8 г) спостерігалась при сівбі з міжряддями 45 см.

4.6 Вплив рівнів удобрення на параметри показників структури врожаю амаранту

Однією з головних причин неповної реалізації генетичного потенціалу врожайності амаранту є недостатнє вивчення особливостей його системи

удобрення для конкретних ґрунтово-кліматичних умов. У більшості досліджень амарант реагував на підвищення норм внесення мінеральних добрив значним приростом врожайності [21, 23, 93, 172, 346]. Для формування урожаю на рівні 10 т/га сухої речовини він виносить $N_{150-175}P_{90-100}K_{450-550}Ca_{210-250}Mg_{80-100}$ [25, 141].

Урожайність зерна амаранту залежить від багатьох елементів структури. На всіх варіантах формувались високі рослини, що пояснюється достатнім забезпеченням вологою в роки проведення досліджень. На варіантах з більшими нормами добрив рослини мали більшу висоту, за внесення $N_{200}P_{80}K_{160}$ за висотою рослини переважали контроль ($N_0P_0K_0$) на 61,1 см (табл. 4.10).

Таблиця 4.10

Елементи структури урожаю амаранту залежно від рівня удобрення сорту Харківський 1, середнє за 2019-2021рр.

Норми добрив	Висота рослини, см	Довжина волоті, см	Маса насіння 1 рослини, г	Маса 1000 насінин, г	Кількість рослин на м ² на час збирання
Контроль	147,1	32,2	12,9	0,86	18
$N_{40}P_{20}K_{40}$	175,3	41,6	15,8	0,87	19
$N_{80}P_{40}K_{80}$	188,2	49,1	17,8	0,88	20
$N_{120}P_{40}K_{80}$	193,1	54,1	19,9	0,88	20
$N_{160}P_{80}K_{120}$	199,4	59,3	23,8	0,89	19
$N_{200}P_{80}K_{120}$	208,0	71, 7	27,0	0,90	18
$N_{200}P_{80}K_{160}$	208,2	71,4	27,8	0,91	18

Добрива вплинули не лише на ростові процеси, а й зумовили позитивні зміни між морфологічними органами рослин. Довжина волоті збільшилась на 9,4 – 39,2 см залежно від норми добрив.

Найважливішими показниками структури врожайності є маса насіння з однієї рослини та кількість рослин на одиниці площі на час збирання урожаю.

Необхідно зазначити, що норми мінеральних добрив майже не впливали на густоту рослин, цей показник був стабільним по варіантах і змінювався в межах 18 – 20 рослин/м². Визначальний вплив на масу насіння з рослини амаранту ($r = 0,99$), яка змінювалась у широкому діапазоні, мали норми добрив. Так, на варіанті без добрив вона становила 12,9 г, а за внесення максимальної норми добрив (N₂₀₀P₈₀K₁₆₀) зросла більше ніж у два рази - до 27,8 г, або більше на 14,9 г.

Площина регресії (рис. 4.11) демонструє чітку позитивну кореляцію (множинний коефіцієнт $r = 0,99$): зі збільшенням норми мінеральних добрив, маса однієї рослини значно збільшується. Градієнт кольору показує, що зростання досягається досить рівномірно по всій площині, без різких переходів чи плато. Тобто, для максимізації маси насіння з однієї рослини варто збільшити норми внесення мінеральних добрив, за яких зростає і маса 1000 насінин.

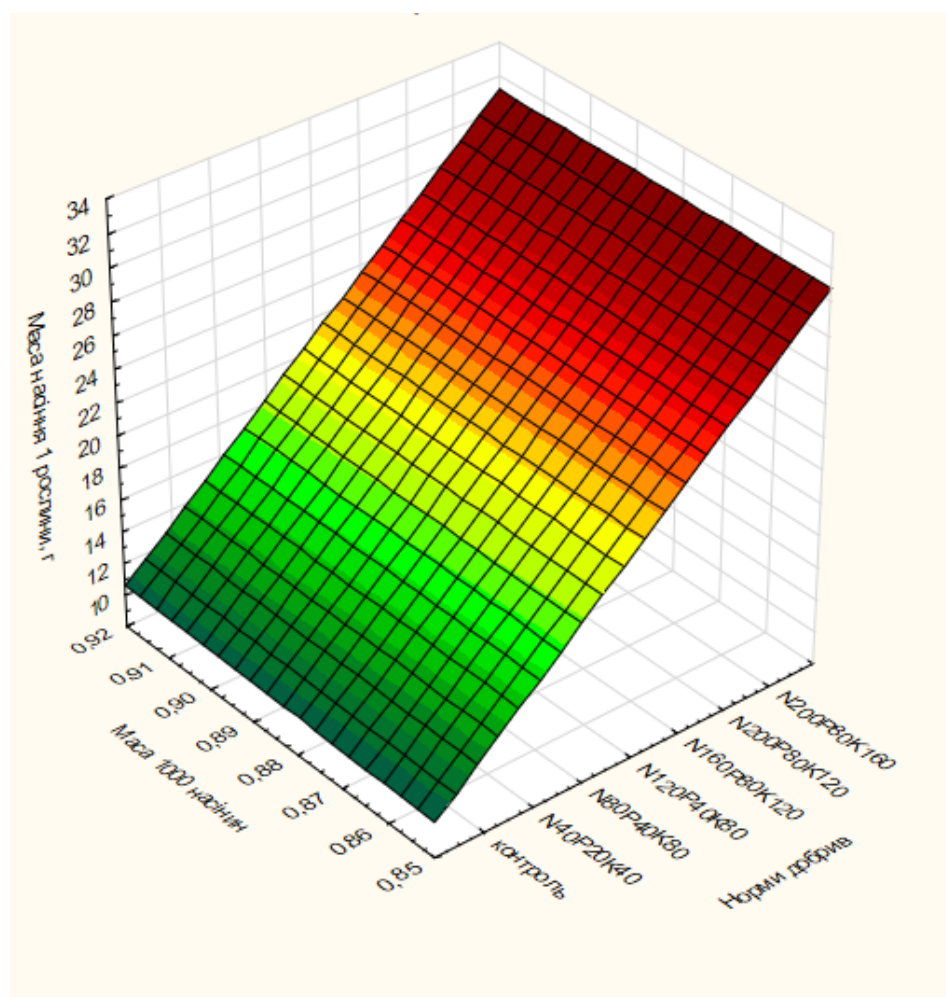


Рис. 4.11. Просторова 3Д модель регресії норм добрив і маси 1000 насінин (г) на масу насіння однієї рослини амаранту сорт Харківський 1.

Дану залежність достовірно описують рівняння регресії:

$$Y = -253,7071 + 2,5714X_1 + 5,0X_2;$$

де Y - маса насіння 1 рослини, г;

X_1 - норми добрив;

X_2 - маса 1000 насінин.

Коефіцієнт детермінації: $R^2 = 0,98$.

Маса 1000 насінин теж зростала на вищих фонах добрив. На контролі вона була найменшою (0,86 г), а за внесення максимальної норми мінеральних добрив зросла до 0,91 г.

За результатами кореляційно-регресійного аналізу встановлено дуже сильний прямий зв'язок між рівнями удобрення та показниками структури урожаю, що відображається на рис. 4.12.

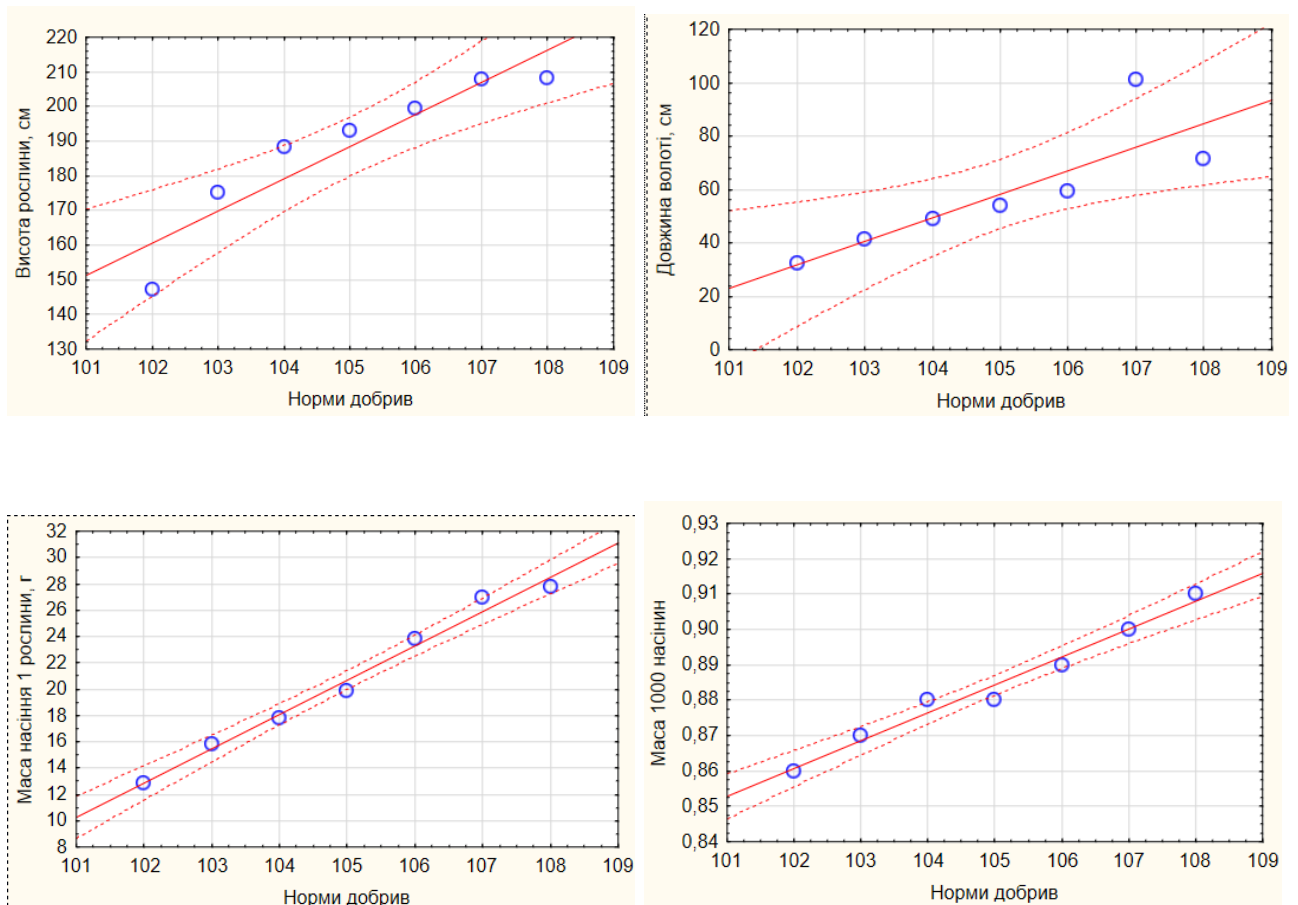


Рис. 4.12. Статистичні моделі залежності між нормами мінерального удобрення і елементами структури амаранту сорту Харківський 1.

Зокрема, коефіцієнт кореляції між рівнями удобрення та висотою рослин становив $r = 0,93$, між рівнями удобрення та довжиною волоті, масою насіння 1 рослини, масою 1000 насінин коефіцієнт кореляції становив $r = 0,99$ відповідно. Тоді як, коефіцієнт кореляції між рівнями удобрення та густотою рослин на час збирання становив $r = -26$, що свідчить про тенденцію до слабкого зворотного зв'язку. Дані залежності достовірно описують рівняння регресії (табл. 4.11).

Таблиця 4.11

Кореляційно-регресійна залежність між елементами структури врожаю амаранту сорту Харківський 1 (Y) і рівнем удобрення (X)

Показник (Y)	Рівняння регресії	Коефіцієнт кореляції	Коефіцієнт детермінації, %
Довжина волоті, см	$Y = -866,4 + 8,8071X$	0,99	0,71
Висота рослини, см	$Y = -786,2 + 9,2821X$	0,93	0,86
Маса насіння 1 рослини, г	$Y = -253,4 + 2,6107X$	0,99	0,98
Маса 1000 насінин	$Y = 0,05929 + 0,00786X$	0,99	0,98

За результатами досліджень впливу рівнів мінерального удобрення на показники структури врожаю сорту Ультра прослідковується аналогія до сорту Харківський 1. Застосування норм добрив дуже сильно впливало на всі елементи структури врожаю, коефіцієнт кореляції становив $r = 0,95 - 0,99$.

За візуального обстеження посівів амаранту відмічено що, за високих рівнів удобрення, рослини амаранту мали більш яскраве забарвлення листя і кращий розвиток вегетативної маси. Також, спостерігалось подовження міжфазних періодів, зумовлене появою на рослинах гілок з волотями другого порядку, які цвіли при утворенні зерна в волотях основного суцвіття.

Застосування мінеральних добрив впливало не лише на інтенсивність ростових процесів амаранту, але й зумовлювало зміни у співвідношенні між морфологічними органами рослин. Так, висота рослин збільшувалася під дією мінеральних добрив на 18,2 – 61,4 см відносно контрольного варіанту залежно

від норми. Одночасно покращення мінерального живлення сприяло збільшенню довжини волоті на 4 – 40,8 см залежно від варіанту дослідів (рис. 4.13).

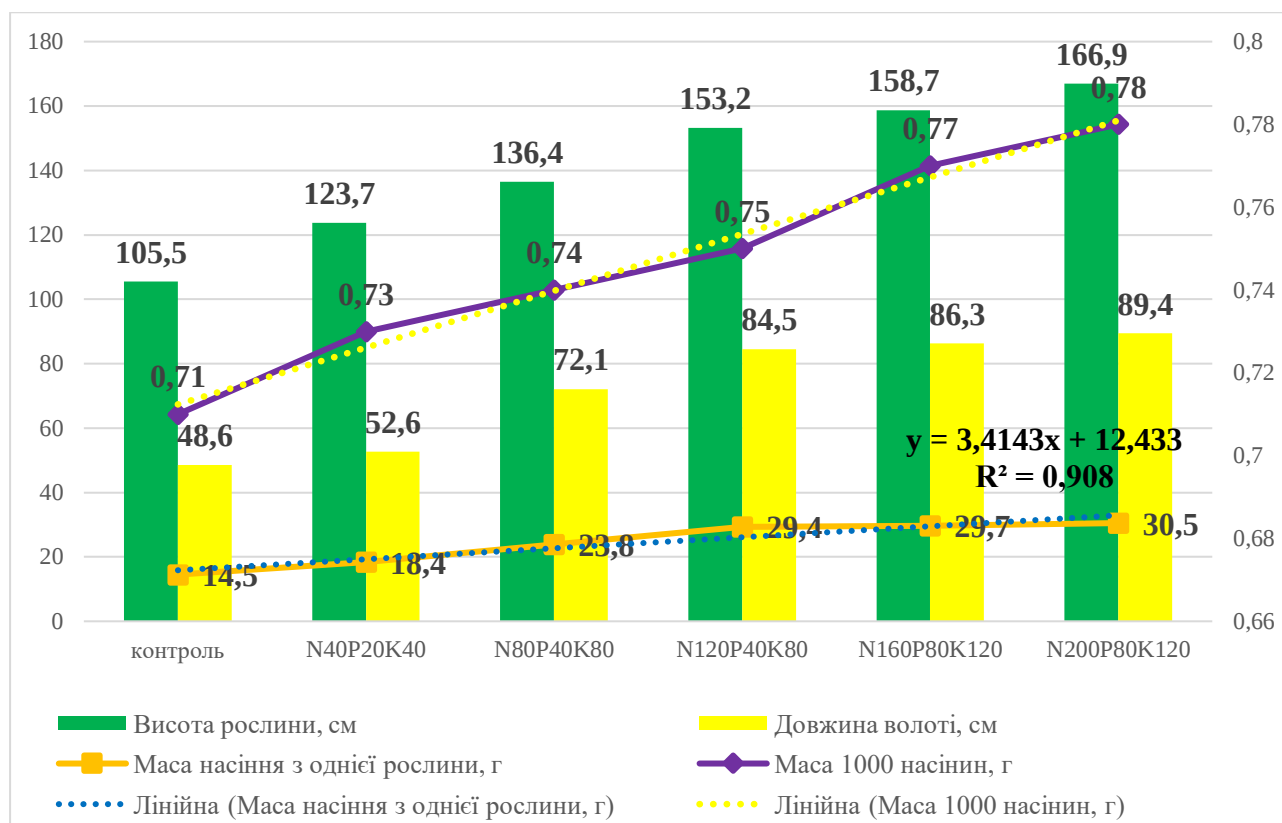


Рис. 4.13. Елементи структури врожаю амаранту сорту Ультра залежно від рівнів удобрення, середнє за 2019 – 2020 рр.

Маса 1000 насінин — видовий показник, значною мірою залежить від сорту та умов формування насіння. Збільшення рівня удобрення сприяло збільшенню маси 1000 насінин. В наших дослідженнях найвищий показник маси 1000 насінин та масу насіння з однієї рослини було отримано за рівня удобрення $N_{200}P_{80}K_{120}$ - 0,78 г та 30,5 г, що є, відповідно, на 0,07 г і 16 г більше контролю.

Лінійна лінія тренду демонструє стабільне збільшення маси 1000 насінин і маси насіння 1 рослини із збільшенням рівня удобрення. Дані залежності достовірно описують рівняння регресії:

$$Y = 0,0137 X + 0,6987;$$

де Y - маса 1000 насінин сорту Ультра, г;

X_1 - норма добрив.

Коефіцієнт детермінації: $R^2 = 0,99$

$$Y = 3,4143 X + 12,433;$$

де Y - маса насіння 1 рослини сорту Ультра, г;

X_1 - норма добрив.

Коефіцієнт детермінації: $R^2 = 0,91$

Отже, із збільшенням норми добрив біометричні показники елементів структури врожайності сортів амаранту пропорційно зростали. Найбільші параметри структури врожайності було отримано за найвищого рівня удобрення $N_{200}P_{80}K_{160}$: у сорту Харківський 1 висота рослин становила 208, 2 см, довжина волоті – 71,4 см, маса насіння однієї рослини – 27,8 г, маса 1000 насінин – 0,91 г, а у сорту Ультра – 166,9 см, 89,4 см, 30,5 г, 0,78 г відповідно.

Висновки до розділу 4

1. Кліматичні умови в роки проведення досліджень впливали на формування біометричних елементів структури врожаю сортів амаранту. Зокрема, встановлено прямий вплив кількості опадів на формування висоти стебла рослин ($r = 0,70 \dots r = 0,84$), на довжину волоті ($r = 0,54 \dots r = 0,77$); і сильний зворотний вплив на формування маси насіння однієї рослини ($r = -0,83 \dots r = -0,92$). Встановлена пряма залежність різної сили впливу між температурним режимом та висотою рослин ($r = 0,17 \dots r = 0,39$); формуванням довжини волоті ($r = 0,30 \dots r = 0,57$); і масою зерна з 1 рослини ($r = 0,72 \dots r = 0,84$).

2. Вивчення елементів структури урожаю показало, що висота рослини досліджуваних сортів мала позитивний вплив ($r = 0,63$) на рівень урожайності зерна амаранту, тоді як між довжиною волоті та урожайністю спостерігався зворотній зв'язок середньої сили ($r = -0,36$). Маса 1000 насінин у сортів амаранту

коливалась в межах 0,74 – 0,88 г. Найбільший вплив на врожайність мала маса насіння з рослини (коефіцієнт кореляції $r = 0,99$).

3. Маса насіння з рослини була найвищою (17,6 – 34,0 г) у всіх сортів за норми висіву 0,2 млн/га. Серед сортів амаранту найбільшою індивідуальною продуктивністю (12,5 – 34,0 г) за всіх норм висіву характеризувався сорт Харківський 1.

4. Оптимальні елементи структури врожаю (20 рослин/м² і маса насіння з рослини 19,7 - 23,1 г) для формування найвищої продуктивності найурожайніших сортів Харківський 1 і Лера, були сформовані за норми висіву 0,4 млн/га. Врожайність інших досліджуваних сортів зростала із загущенням посівів.

5. Маса 1000 насінин амаранту більше змінювалась під впливом сорту (0,14 г), ніж під впливом норми висіву (0,04 г). Найвищою вона була у найурожайнішого сорту Харківський 1, де залежно від норми висіву коливалась у межах 0,86 – 0,92 г. В середньому по досліді, збільшення норми висіву до 1,2 млн/га призводило до зменшення маси 1000 насінин до 0,79 г, тоді як за норми висіву 0,2 млн/га вона становила 0,83 г.

6. Найвищу біологічну врожайність (3,88 т/га) амаранту сорту Харківський 1 забезпечила глибина сівби 2 см. Таку урожайність одержано за густоти рослин 28 шт/м², довжини волоті 65 см, маси насіння з рослини 14,4 г, маси 1000 насінин 0,84 г. Подальше збільшення глибини загортання насіння амаранту до 4-5 см негативно вплинуло на показники елементів структури врожаю та призвело до зниження врожайності.

7. Пізніші строки сівби (після 30 травня) негативно впливали на формування елементів структури врожаю амаранту сорту Лера. Маса насіння з рослини (21 г), від якої найбільше залежить рівень урожайності, була найбільшою за сівби 30 квітня.

8. В умовах достатнього зволоження Лісостепу західного, найвищі показники густоти рослин (23-24 р/м²), довжини волоті (68 м), маси 1000 зерен (0,90-0,92 г) та біологічна урожайність (4,06-4,09 т/га) зерна амаранту сорту Лера

формувались за сівби з шириною міжрядь 15 см і 30 см. Найбільша маса насіння з однієї рослини (17,8 г) спостерігалась при сівбі з міжряддями 45 см.

9. Із збільшенням норми добрив біометричні показники елементів структури врожайності сортів амаранту пропорційно зростали. Найбільші параметри структури врожайності було отримано за найвищого рівня удобрення $N_{200}P_{80}K_{160}$: у сорту Харківський 1 висота рослин становила 208,2 см, довжина волоті – 71,4 см, маса насіння однієї рослини – 27,8 г, маса 1000 насінин – 0,91 г, а у сорту Ультра – 166,9 см, 89,4 см, 30,5 г, 0,78 г відповідно.

За матеріалами даного розділу автором опубліковано наукові праці [172, 179, 197, 197, 561, 564, 565].

РОЗДІЛ 5.

УРОЖАЙНІСТЬ АМАРАНТУ ЗАЛЕЖНО ВІД КОМПЛЕКСУ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ

5.1 Вплив сортових особливостей амаранту на врожайність зерна в умовах Лісостепу західного

У зв'язку з глобальними змінами клімату важливо встановити реакцію амаранту на нові умови вирощування. Залежність рівня реалізації генетичного потенціалу сортів амаранту від погодних умов досить висока. При цьому, найбільший вплив на продуктивність культури в усіх ґрунтово-кліматичних зонах мають умови зволоження та температурний режим, які складаються впродовж вегетаційного періоду й, особливо, у першій половині вегетації.

У наших дослідженнях урожайність зерна амаранту змінювалась залежно від гідротермічних умов року. У 2019 році урожайність було нижчою порівняно з 2021 роком і коливалась залежно від сорту в межах чів 2,08 – 4,11 т/га (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

Урожайність зерна амаранту залежно від сорту, т/га*

Сорти	Роки			Середнє	Приріст урожаю	
	2019	2020	2021		т/га	%
Ультра (контроль)	2,08	1,37	2,46	1,97	-	-
Студентський	2,51	2,22	2,62	2,45	0,48	24,4
Харківський 1	4,11	3,67	4,35	4,03	2,06	104,6
Лера	3,32	3,08	3,44	3,28	1,31	66,5
Ацтек	2,33	1,68	2,56	2,19	0,22	11,2
Сем	2,93	2,31	2,98	2,74	0,77	39,1
Поліщук	2,39	1,71	2,53	2,21	0,24	12,2
НІР ₀₅	0,15	0,16	0,19			

* за рівня мінерального удобрення N₁₂₀P₈₀K₁₂₀

Різниця між найнижчою урожайністю у сорту Ультра та найвищою у сорту Харківський 1 становила 2,03 т/га.

Зменшення урожайності амаранту у 2019 році пояснюється специфічними гідротермічними умовами. У цілому вегетаційний період характеризувався вищою температурою і сумою опадів, порівняно з середніми багаторічними даними. Проте, у травні за середньобагаторічної норми 69 мм, випало 161 мм опадів, що вище від норми на 92 мм (рис. 5.1).

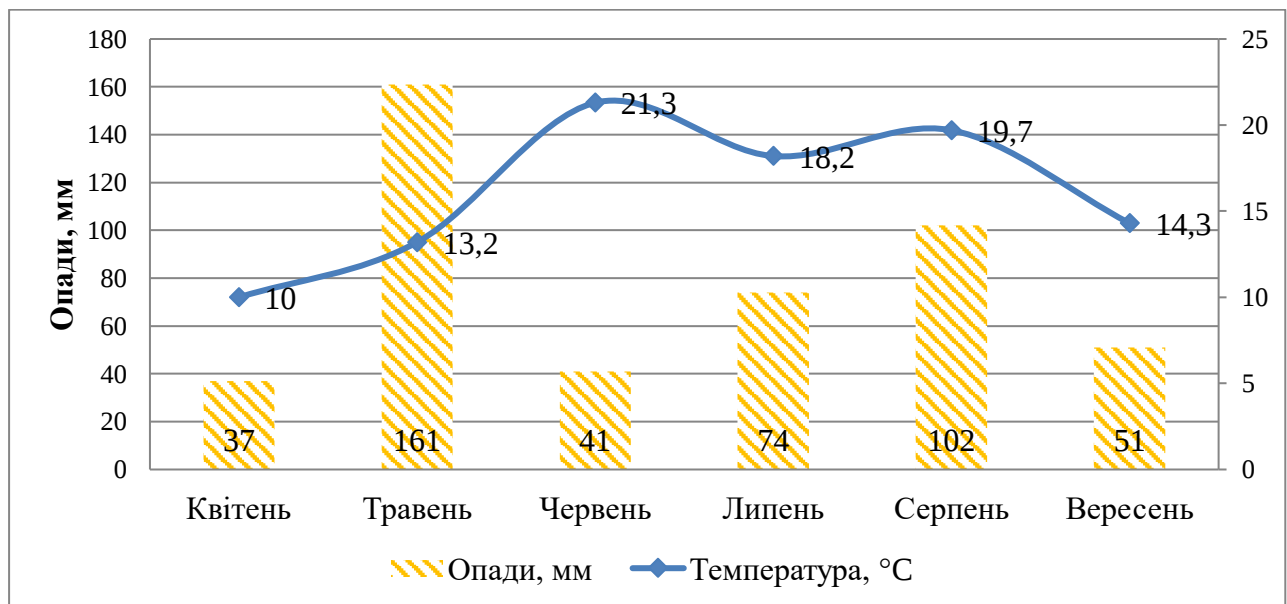


Рис. 5.1. Гідротермічні умови у 2019 році.

Внаслідок постійних дощів важко було ефективно контролювати рівень забур'яненості посівів амаранту. Крім того, через перезволоження з ґрунту було витіснено повітря і не вистачало в ґрунті кисню для нормального розвитку кореневої системи. Це обмежило засвоєння елементів живлення, сповільнило ростові процеси в амаранту, пригнітило розвиток кореневої системи, наростання біомаси, що в кінцевому результаті призвело до зниження врожайності.

Найнижчою урожайність зерна у всіх досліджуваних сортів була у 2020 році і коливалась в межах 1,37 – 3,67 т/га (табл. 5.1). Різниця між найменшою врожайністю у сорту амаранту Ультра та найвищою у сорту Харківський 1 становить 2,30 т/га.

Причиною зниження врожайності у 2020 році, як і в 2019 році, було надмірна кількість опадів. Проте, на відміну від 2019 року, в якому перезволоження ґрунту спостерігалось у травні, у 2020 році дуже вологим був триваліший період впродовж двох місяців – травень і червень. Так, у травні випало 138 мм опадів, що більше від норми вдвічі, на 69 мм (рис. 5.2).

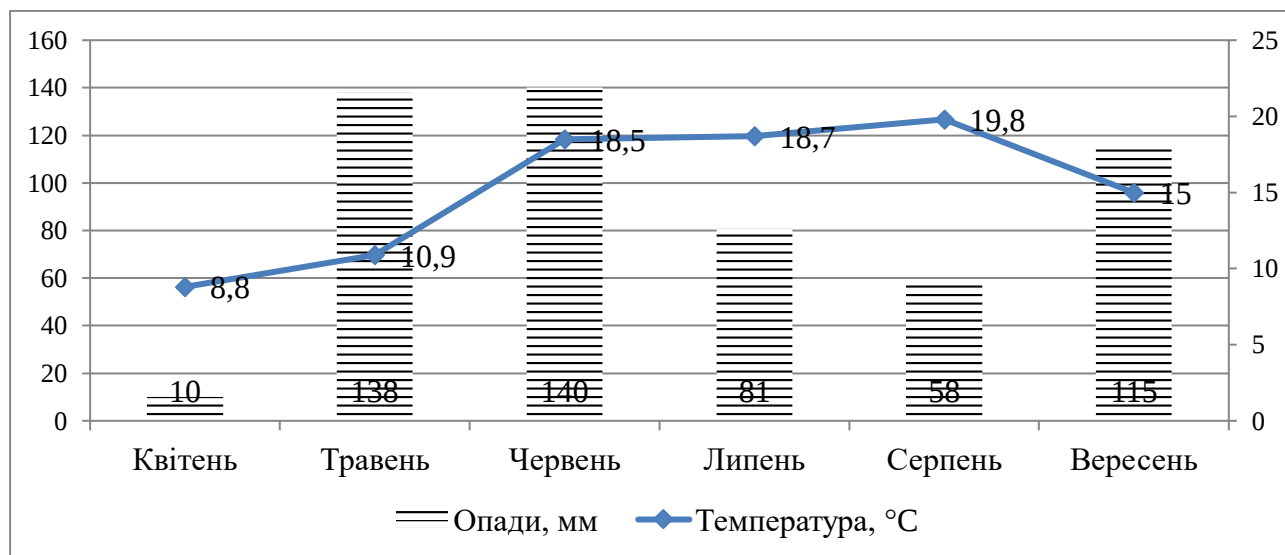


Рис. 5.2. Гідротермічні умови у 2020 році.

Дошовим був також червень, в якому випало 140 мм, або вище від середніх багаторічних даних на 56 мм. Необхідно зазначити, що крім перезволоження, травень 2020 року був ще і холодним. Середньомісячна температура в цьому місяці становила лише 10,9°C, що менше від норми на 3,1°C. Надмірна кількість опадів у поєднанні з низькими температурами в травні і спричинила значне зниження врожайності у 2020 році, порівняно з 2019 та 2021 роками. Адже амарант культура тропічного походження і характеризується теплолюбністю та посухостійкістю.

Подібні результати досліджень щодо негативного впливу перезволоження у травні-червні 2014 року на урожайність амаранту одержано також іншими дослідниками [180].

Найбільш сприятливими для формування врожайності зерна амаранту були гідротермічні умови 2021 року. Урожайність залежно від сорту змінювалась у межах 2,46–4,35 т/га. Різниця між найменшою врожайністю у

сорту Ультра та найбільшою у сорту Харківський 1 становить 1,89 т/га. У третій рік досліджень сума опадів у першій половині вегетації була в межах норми, внаслідок чого відсутнє перезволоження ґрунту. Більша від норми кількість опадів у серпні (144 мм) та вересні (108 мм) не мала негативного впливу на формування врожаю амаранту (рис. 5.3).

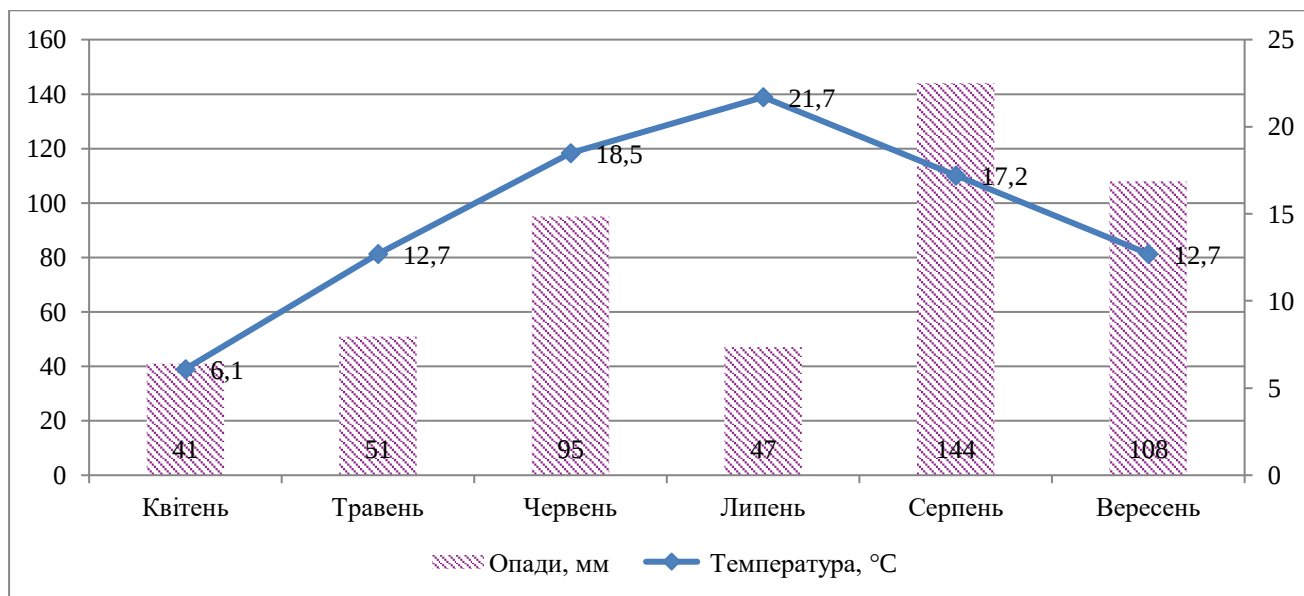


Рис. 5.3. Гідротермічні умови у 2021 році.

Сума температур теж відповідала середнім багаторічним показникам, і що важливо, в липні вона була найвищою за три роки досліджень, становила 21,7 °C, що вище від норми на 3,1 °C.

У середньому за три роки серед сортів амаранту найменшу врожайність зерна одержали у сорту Ультра – 1,97 т/га (табл. 5.1). Низька врожайність була також у сорту Ацтек – 2,19 т/га, що вище ніж у сорту Ультра на 0,22 т/га (11,2 %). Майже на такому ж рівні сформувалась урожайність зерна у сорту Поліщук – 2,21 т/га, або більше від сорту Ультра на 0,24 т/га (12,2 %). У сорту Студентський урожайність становила 2,45 т/га, тобто вище від сорту Ультра на 0,48 т/га (24,4 %). Сорт Сем за врожайності 2,74 т/га перевищив сорт Ультра на 0,77 т/га (39,1 %).

У результаті досліджень встановлено, що найвищу врожайність у середньому за три роки формували сорти Харківський 1 та Лера. У сорту Лера

врожайність становила 3,28 т/га, що більше порівняно з сортом Ультра на 1,31 т/га (66,5 %). Найвищу врожайність одержано у сорту Харківський 1, яка становила 4,03 т/га, або вище ніж у сорту Ультра на 2,06 т/га (104,6 %). Порівняно з сортом Лера приріст урожайності у сорту Харківський 1 становить 0,75т/га або 22,9 %.

За результатами статистичної обробки результатів досліджень встановлено, що вплив сортових особливостей на формування урожайності амаранту становив 80 %, кліматичних умов - 16 %, взаємодія сортових особливостей і погодних умов – 3 %, і 1 % - інші фактори (рис. 5.4).

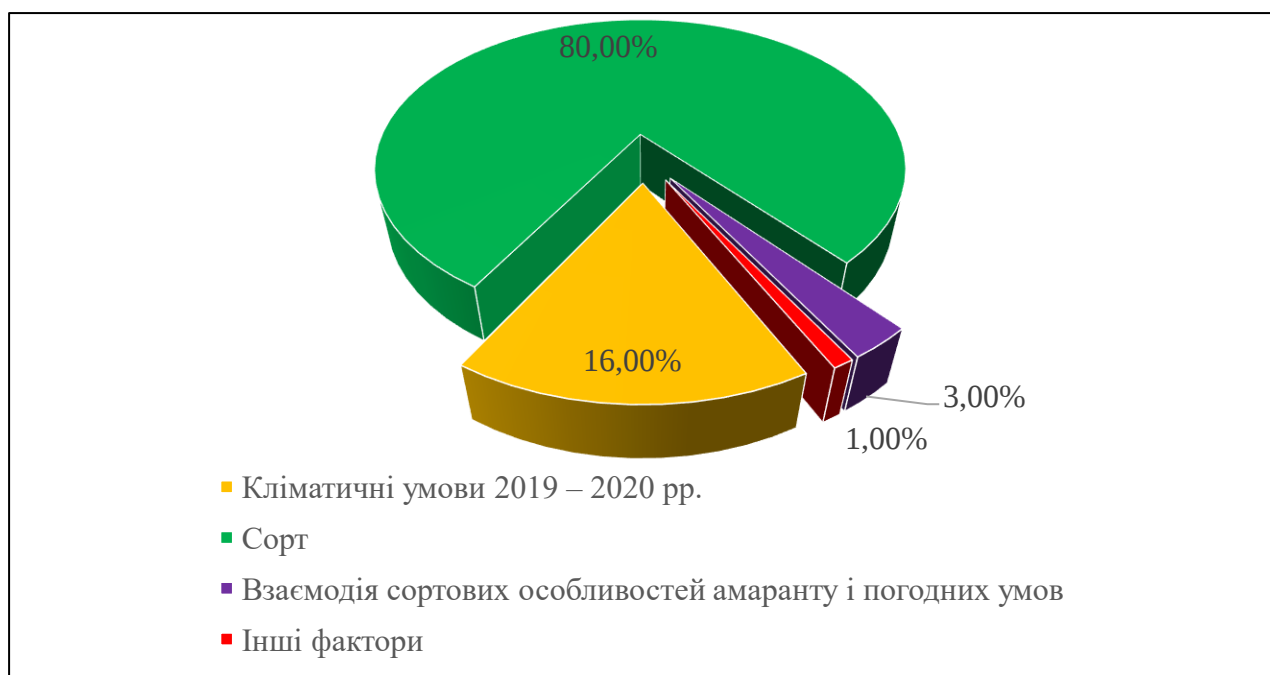


Рис. 5.4. Частка впливу факторів на формування врожайності амаранту, середнє за 2019 – 2020 рр.

Кореляційно – регресійний аналіз показав, що кількість опадів за період вегетації впливала на урожайність зерна всіх досліджуваних сортів амаранту. Було виявлено помітний зворотній зв'язок: для сортів Харківський 1, Ультра і Лера коефіцієнт кореляції становив $r = -0,48$, $r = -0,49$, $r = -0,50$, і помірний для сортів Студентський, Ацтек, Поліщук і Сем відповідно $r = -0,52$, $r = -0,53$, $r = -0,55$, $r = -0,57$. Зворотний зв'язок між температурним режимом і урожайністю сортів амаранту був слабким - $r = -0,02$ -0,19.

Площина регресії (рис. 5.5) демонструє, що сорт амаранту Харківський 1 забезпечує найбільшу врожайність за умов нижчих температур (близько 14,6-15,0°C) у поєднанні з меншою кількістю опадів (близько 400-440 мм). У міру підвищення температури та кількості опадів урожайність поступово зменшується.

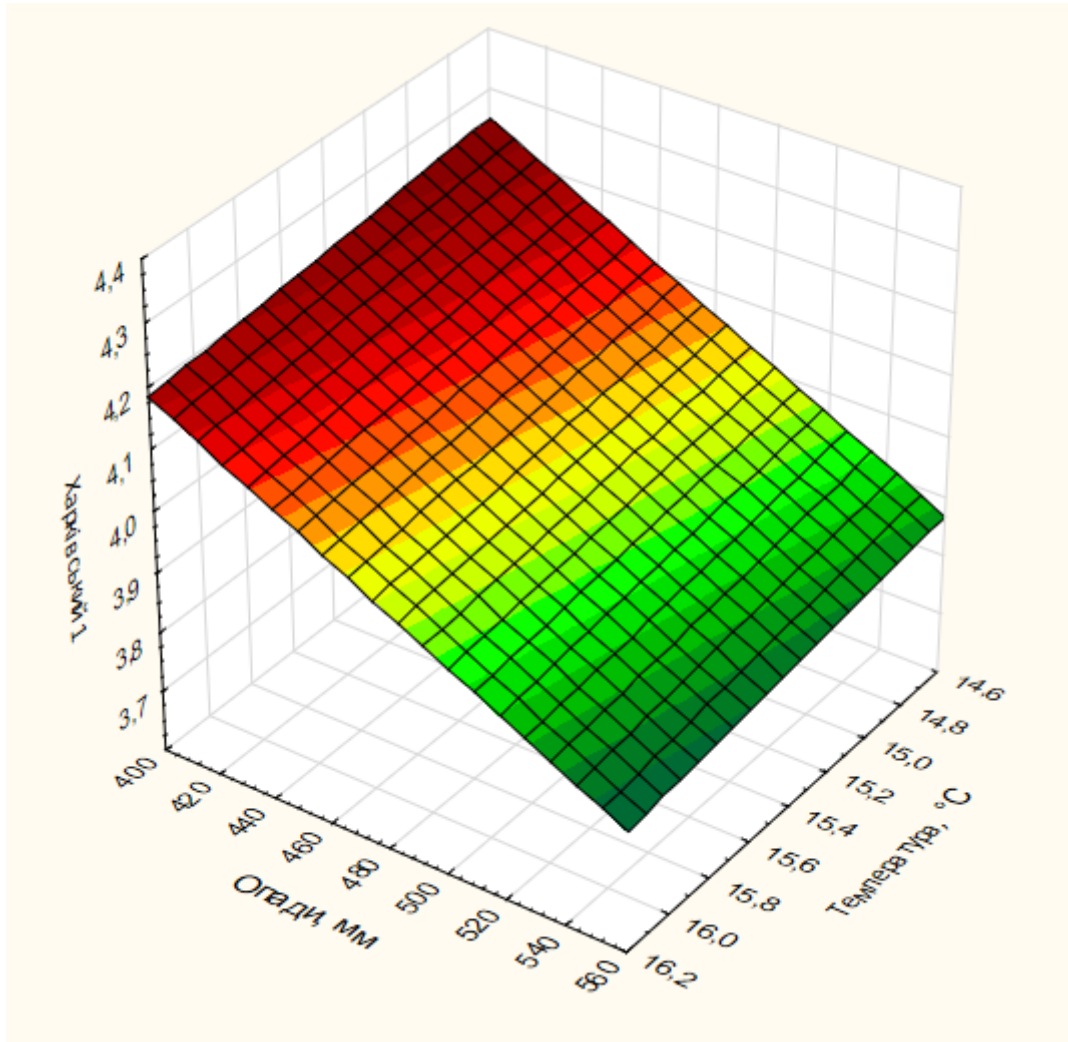


Рис. 5.5. Просторова 3Д модель регресії впливу кліматичних умов за період вегетації на рівень врожайності (т/га) амаранту сорту Харківський 1.

Дану залежність для сорту Харківський 1 можна описати рівнянням регресії:

$$Y = 5,8521 - 0,0433 X_1 - 0,0024 X_2;$$

де Y – врожайність сорту Харківський 1;

X_1 - температура, °C;

X_2 - опади, мм

Коефіцієнт детермінації: $R^2 = 0,23$

Відмічено відмінну від решти досліджуваних сортів амаранту позитивну слабку кореляцію ($r = 0,06$) урожайністю сорту Сем з температурним режимом в роки дослідження.

На рис. 5.6 зображено 3Д площину, що демонструє менший діапазон врожайності сорту амаранту Сем і яка зростає зі зменшенням опадів за зниження температури. Найвищі значення врожайності спостерігаються при нижчих температурах і меншій кількості опадів, подібно до моделі врожайності сорту Харківський 1.

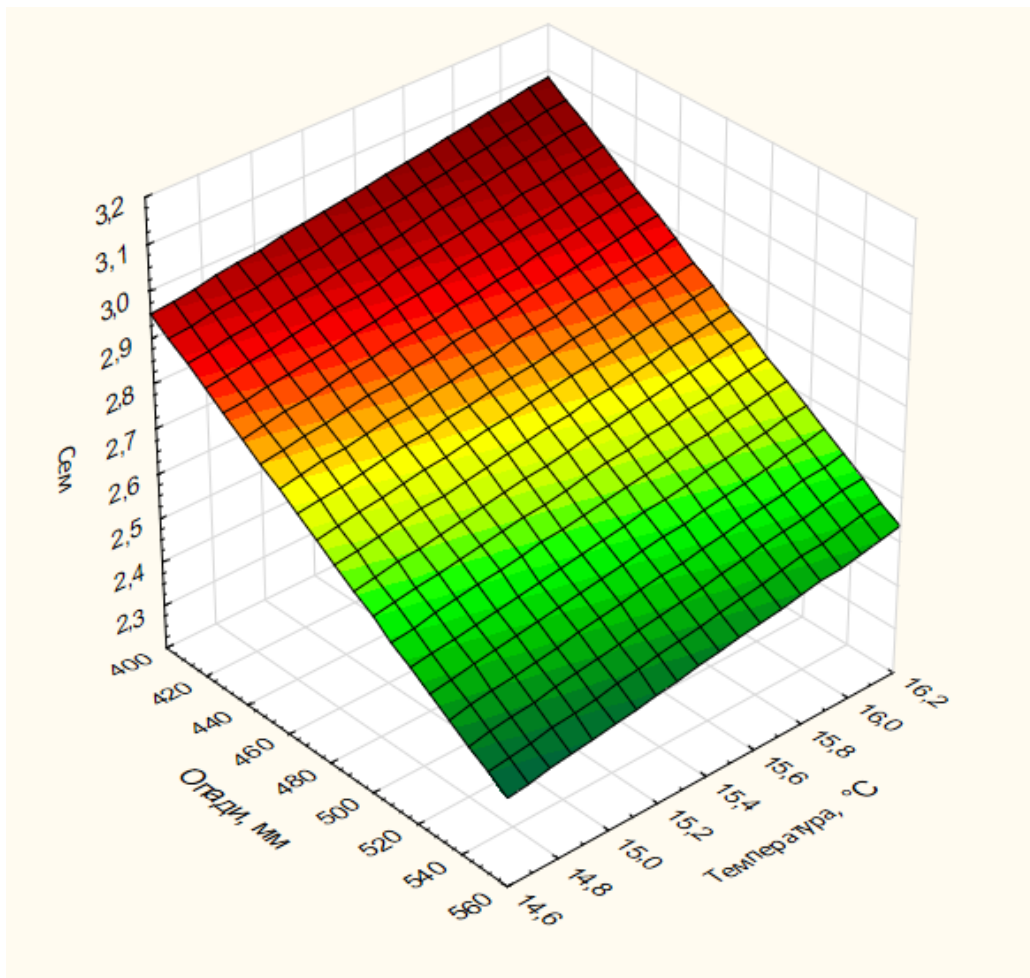


Рис. 5.6. Просторова 3Д модель регресії впливу кліматичних умов за період вегетації на рівень врожайності (т/га) амаранту сорту Сем.

Дану залежність для сорту Сем можна описати рівнянням регресії:

$$Y = 3,0864 - 0,0035X_1 + 0,0854X_2;$$

де Y – врожайність сорту Сем;

X_1 - температура, °C;

X_2 - опади, мм

Коефіцієнт детермінації: $R^2 = 0,36$.

Дане рівняння достовірно описує процес формування урожайності амаранту, що підтверджує коефіцієнт множинної кореляції ($R = 0,60$), між результативною ознакою та аргументом зв'язок досить тісний. Коефіцієнт детермінації дорівнює $R^2 = 0,36$.

Урожайність амаранту, як посухостійкої культури, зменшувалась у роки (2019 та 2020 рр.) з надмірною кількістю опадів у першій половині вегетації. Найвища врожайність (2,46-4,35 т/га) формувалась у 2021 році, в якому сума опадів у травні, червні і липні була в межах норми.

В умовах західного Лісостепу за достатнього та надмірного вологозабезпечення на темно-сірому опідзоленому легкосуглинковому ґрунті найвищу врожайність зерна (4,03 т/га) серед семи досліджуваних сортів амаранту одержано в сорту Харківський 1. Найменша урожайність формувалась у сорту Ультра (1,97 т/га), що менше порівняно з сортом Харківський 1 на 2,06 т/га.

5.2 Мінеральне удобрення як основа формування високоврожайних посівів амаранту

Зустрічаються дуже різні рекомендації щодо норм внесення мінеральних добрив та доцільності застосування тих чи інших елементів живлення. Так, за даними Воронина А.Н. і Котяк П.А. [67, 128] рекомендується вносити добрива у співвідношення 1:1:1 у кількості $N_{60}P_{60}K_{60}$. У праці Задорожної І.С. вказується, що найвищу врожайність одержали при внесенні повного мінерального удобрення в нормі $N_{90}P_{90}K_{90}$. З врахуванням виносу елементів живлення сформованим урожаєм вказується інше співвідношення мікроелементів: $N:P:K =$

1:0,8:3,0 [79]. У деяких дослідженнях норма добрив не конкретизується, а вказується, що доцільно вносити розрахункову норму добрив на заплановану врожайність зерна амаранту [22, 25, 141].

Амарант інтенсивно використовує елементи живлення, тому під основний обробіток вносять фосфорні і калійні добрива ($P_{60-100}K_{90-120}$), а навесні – азотні ($N_{140-200}$). Під культивуацію вносять 2/3 від загальної норми азоту, в підживлення – 1/3 [67, 69, 141]. Результати досліджень Краснєнкова С. В., Дудки М. І. і Черенкова Т. П. свідчать, що найбільшу ефективність у формуванні приросту насіннєвої продуктивності амаранту мали азотно-фосфорні добрива, а внесення їх підвищених норм ($N_{90}P_{90}$ на фоні K_{30}) дозволило одержати найбільшу (1,47 т/га) урожайність насіння [93].

Рекомендується вносити під амарант мінеральні добрива у нормі $P_{45-60}K_{45-60}$ [67, 128]. Проте є протилежні дані, що фосфорні і калійні добрива не підвищували урожайність. Значний вплив вони мали лише при спільному внесення з азотом, а азотні добрива істотно впливали на врожайність [346, 478].

У ґрунтово-кліматичних умовах північного Степу України приріст урожайності зерна амаранту (*Amaranthus paniculatus*) від внесення повного мінерального добрива ($N_{90}P_{90}K_{30}$) був низьким і становив лише 0,42 т/га, порівняно до контролю без добрив [70, 72]. Рекомендується вносити мінеральні добрива в нормі $N_{120}P_{70}K_{70}$ [128, 452].

Проведеними дослідженнями встановлено, що застосування мінеральних добрив забезпечувало значний приріст урожайності. Якщо на контролі рівень врожайності становив 2,31 т/га то за найвищої норми добрив зріс на 2,57 т/га до рівня 4,88 т/га, тобто більш ніж у два рази (табл. 5.2). Найбільш ефективними добрива були на другому варіанті, про що свідчить те, що найвищий приріст урожайності (0,67 т/га) зафіксований при першому підвищенні норми добрив на $N_{40}P_{20}K_{40}$. На третьому варіанті за такого ж підвищення норми добрив ($N_{40}P_{20}K_{40}$) приріст урожайності теж залишився високим - 0,56 т/га.

Урожайність зерна амаранту сорту Харківський 1 залежно від норм добрив

Норма добрив	Роки			Середнє за роки	Приріст до контролю, т/га	Приріст до попереднього варіанту, т/га
	2019	2020	2021			
Контроль	2,40	2,01	2,52	2,31	-	-
N ₄₀ P ₂₀ K ₄₀	3,11	2,60	3,23	2,98	0,67	0,67
N ₈₀ P ₄₀ K ₈₀	3,56	3,21	3,85	3,54	1,23	0,56
N ₁₂₀ P ₄₀ K ₈₀	3,93	3,67	4,25	3,95	1,64	0,41
N ₁₆₀ P ₈₀ K ₁₂₀	4,60	4,20	4,70	4,50	2,19	0,55
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₂₀	4,87	4,62	5,03	4,84	2,53	0,34
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₆₀	4,88	4,71	5,05	4,88	2,57	0,04
НІР ₀₅	0,15	0,08	0,07			

Найбільший вплив на урожайність мали азотні добрива. Внесення додатково N₄₀ на варіантах з нормою добрив N₁₂₀P₄₀K₈₀ та N₂₀₀P₈₀K₁₂₀ призвело до подальшого зростання рівня врожайності на 0,41 т/га та 0,34 т/га порівняно з попередніми варіантами. Тоді як підвищення норми калійних добрив на K₄₀ на останньому варіанті не забезпечувало істотного (0,04 т/га) приросту урожайності.

За результатами статистичного аналізу встановлено, що вплив погодних умов на формування урожайності становив 5 %, тоді як на 95 % врожайність амаранту сорту Харківський 1 залежала від застосування мінеральних добрив (рис. 5.7).

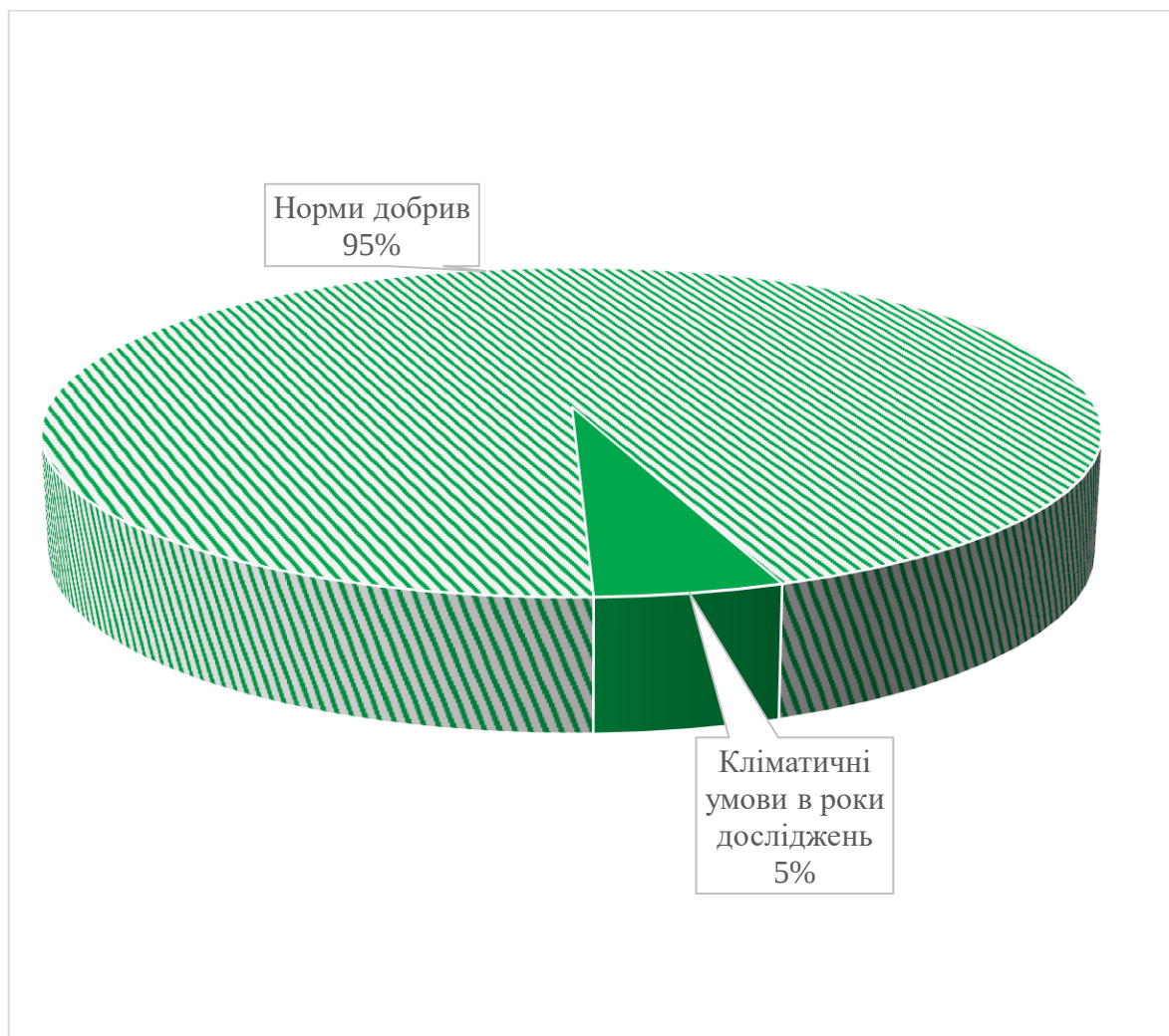


Рис. 5.7. Частка впливу факторів на формування врожайності амаранту, середнє за 2019 – 2020 рр.

Площина регресії (рис. 5.8) демонструє синергетичний ефект обох факторів - для досягнення максимальної врожайності амаранту важливо забезпечити як оптимальну температуру, так і відповідний рівень удобрення. Відбулось зростання врожайності зерна амаранту із підвищенням рівня удобрення та середньорічного показника температурного режиму. Найвища врожайність (5,5-6,0 т/га) досягається при комбінації найвищих значень температури (близько 16,2°C) та максимальних норм удобрення.

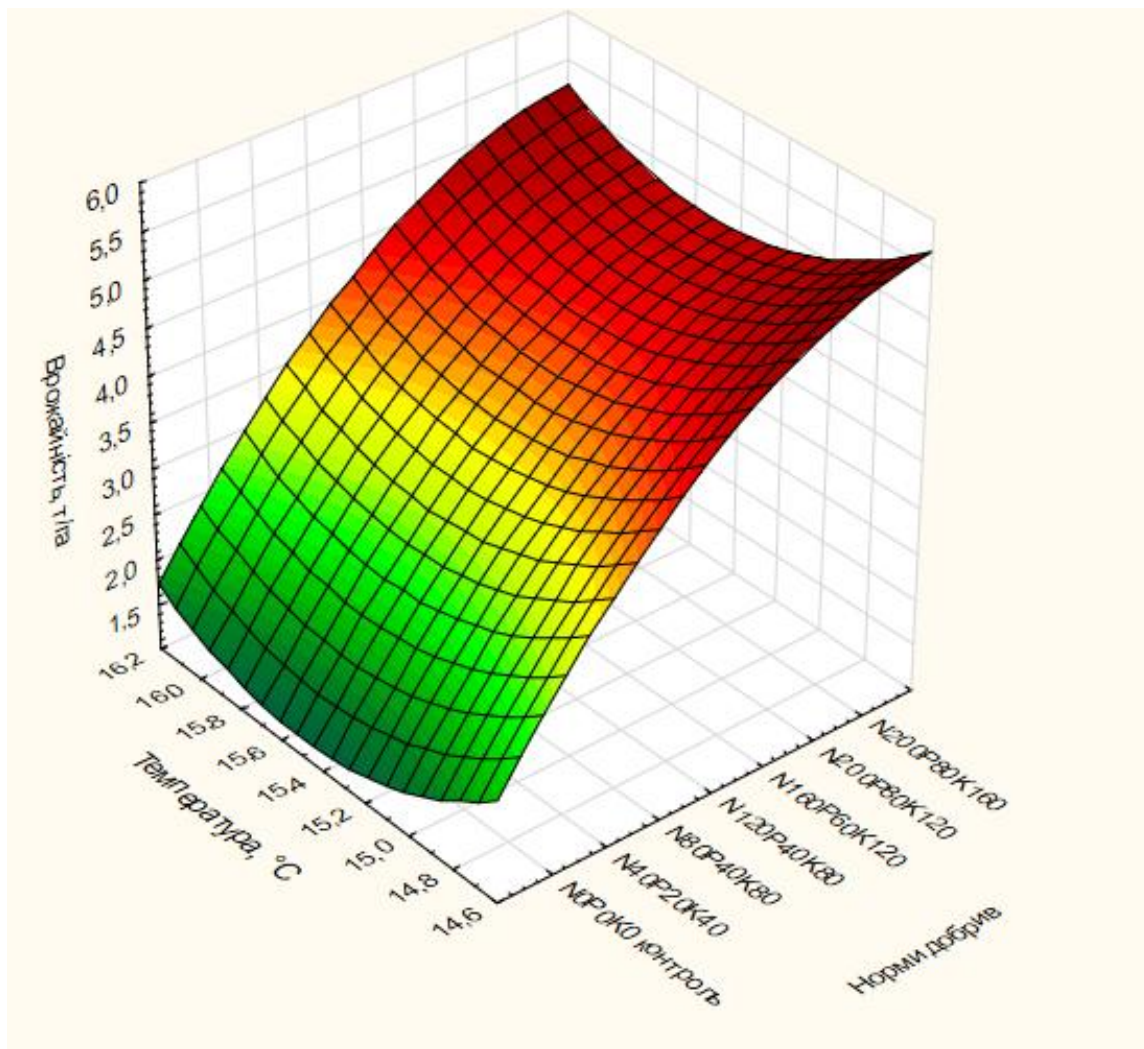


Рис. 5.8. Просторова 3Д модель регресії впливу температурного режиму (°C) і норм добрив на рівень урожайності (т/га) амаранту сорту Харківський 1 за отриманими експериментальними даними.

Дану залежність можна описати рівнянням регресії:

$$Y = -40,7943 + 0,4425 X_1 - 0,0889 X_2;$$

де Y - врожайність сорту Харківський 1, т/га;

X_1 - норми добрив;

X_2 - середньорічний показник температурного режиму за період вегетації, °C.

Коефіцієнт детермінації: $R^2 = 0,91$

Дане рівняння достовірно описує процес формування урожайності амаранту сорту Харківський 1 залежно від рівнів удобрення та температурного режиму, що підтверджує коефіцієнт множинної кореляції ($R = 0,95$). Між результативною

ознакою та аргументом зв'язок дуже тісний. Коефіцієнт детермінації дорівнює $R^2 = 0,91$.

Врожайність амаранту суттєво зростала зі збільшенням кількості опадів та норми удобрення, що демонструє підйом поверхні площини (рис. 5.9).

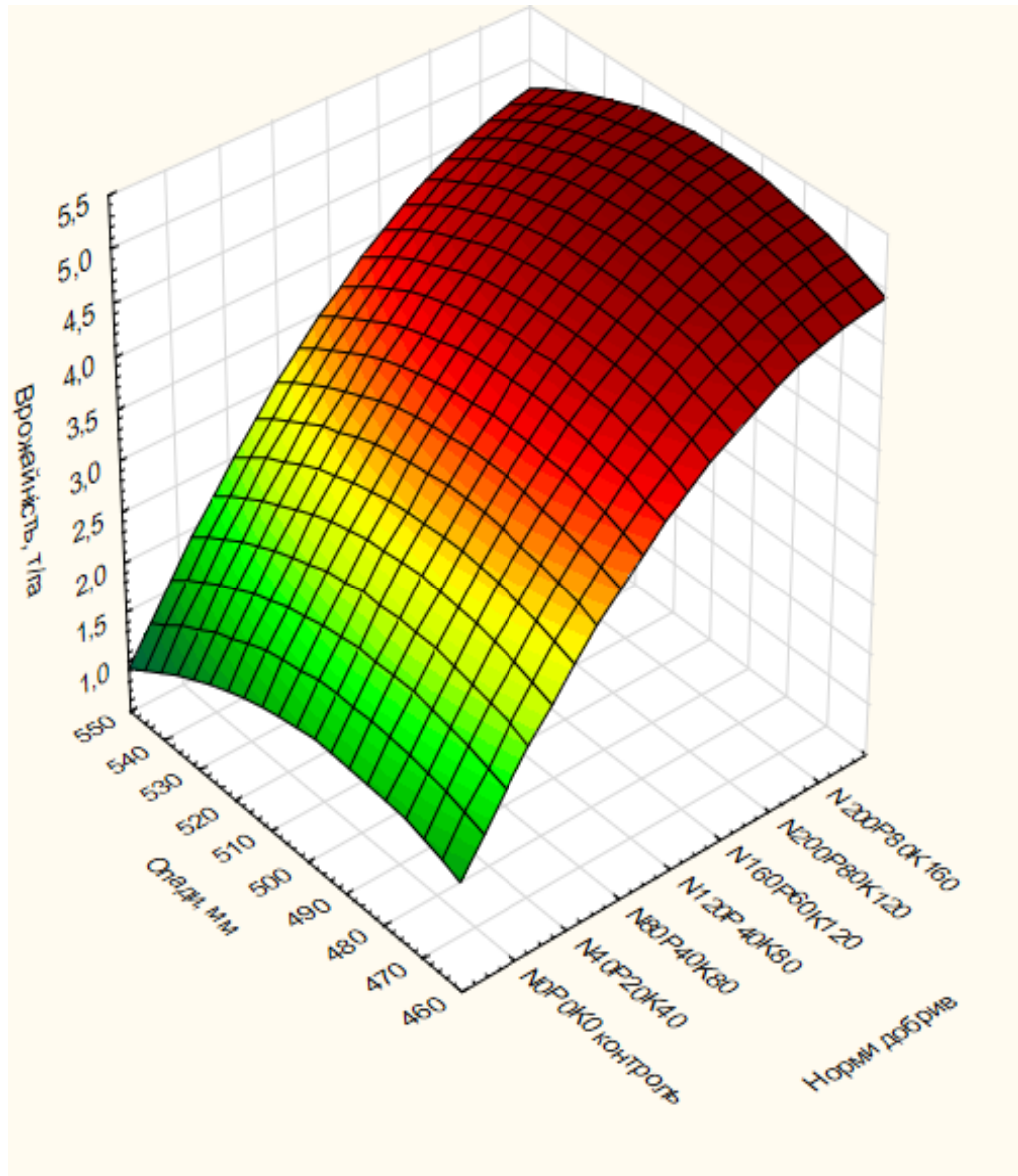


Рис. 5.9. Просторова 3Д модель регресії впливу кількості опадів (мм) і норм добрив на рівень урожайності (т/га) амаранту сорту Харківський 1 за отриманими експериментальними даними.

Дану залежність можна описати рівнянням регресії:

$$Y = -39,4611 + 0,4425 X_1 - 0,0054 X_2;$$

де Y - врожайність сорту Харківський 1, т/га;

X_1 - норми добрив;

X_2 – кількість опадів за період вегетації, мм.

Коефіцієнт детермінації: $R^2 = 0,94$

Найвища врожайність (близько 5,0-5,5 т/га) досягається за комбінації максимальної кількості опадів (близько 550 мм) та найвищих норм удобрення. Найнижча врожайність (близько 1,0-1,5 т/га) має місце за мінімальної кількості опадів (близько 460 мм) та найнижчих нормах удобрення. Графік чітко демонструє, що для досягнення високої врожайності амаранту необхідно достатню кількість вологи (опадів) у поєднанні з відповідним рівнем мінерального живлення. Ці два фактори працюють у синергії, забезпечуючи найкращі результати при їх оптимальному поєднанні.

Рівняння достовірно описує процес формування урожайності амаранту сорту Харківський 1 залежно від рівнів удобрення та кількості опадів, що підтверджує коефіцієнт множинної кореляції ($R = 0,97$). Між результативною ознакою та аргументом зв'язок дуже тісний.

За аналізу впливу погодних умов в роки дослідження на формування врожайності зерна амаранту сорту Харківський спостерігається чітка закономірність приросту врожайності зі збільшенням кількості опадів (рух від 460 до 550 мм) (рис. 5.10). При цьому підвищення температури (рух від 14,8 до 16,2°C) призводить до зниження врожайності, що показано переходом від зеленого до червоного кольору. Найвища врожайність (близько 4,5-5,0 т/га) досягається при максимальній кількості опадів (близько 550 мм) та нижчій температурі (близько 14,8°C). Площина регресії показує, що для амаранту оптимальними умовами є поєднання достатньої кількості вологи з меншими температурами. Даний взаємозв'язок важливий для планування цих агротехнічних заходів для отримання високих врожаїв амаранту в умовах Лісостепу західного.

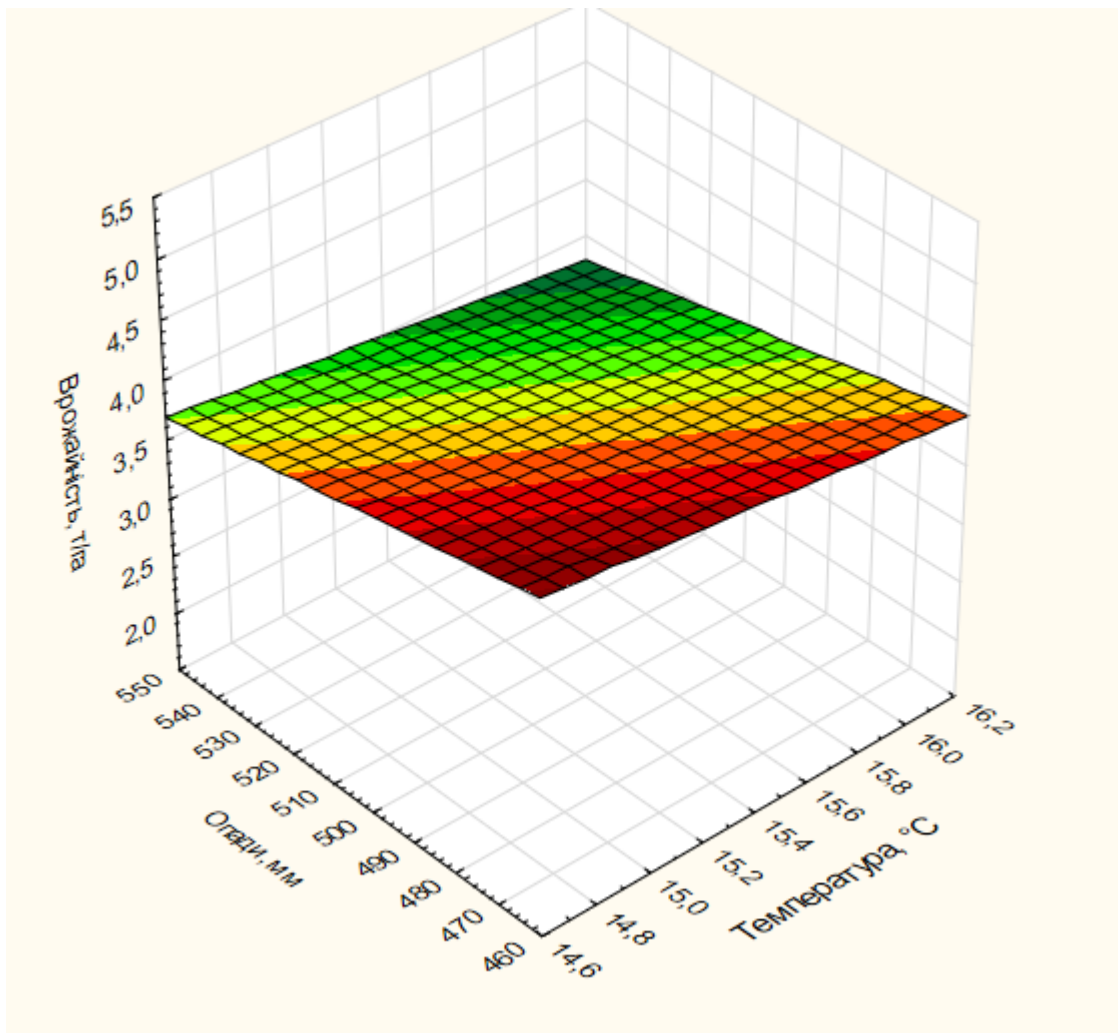


Рис. 5.10. Просторова 3Д модель регресії впливу кліматичних умов в роки досліджень на рівень врожайності (т/га) амаранту сорту Харківський 1.

Залежність врожайності амаранту від погодних умов і норм удобрення можна описати рівнянням регресії:

$$Y = -34,8575673 - 0,0070 X_1 - 0,2482 X_2 + 0,4425 X_3;$$

де Y - врожайність сорту Харківський 1, т/га;

X_1 – опади, мм;

X_2 – температура, °C;

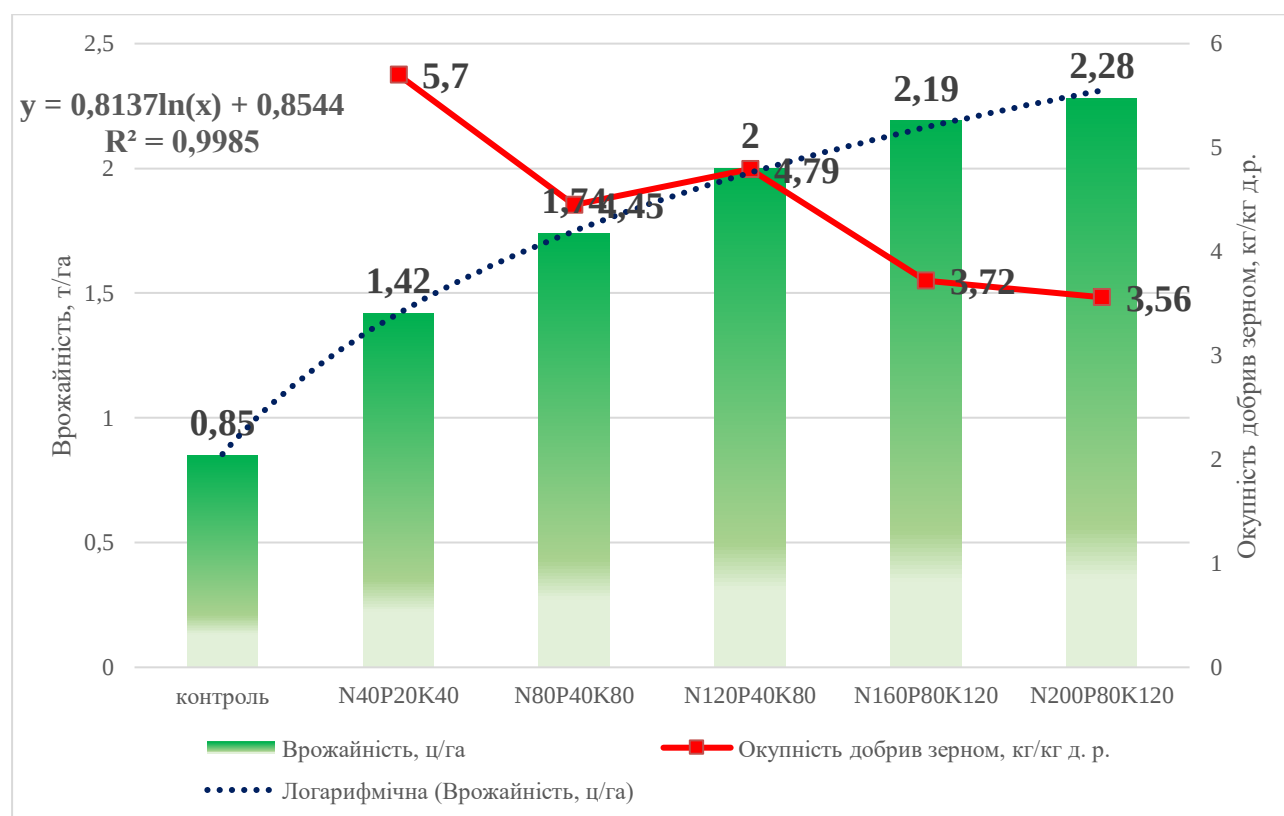
X_3 - норми добрив.

Коефіцієнт детермінації: $R^2 = 0,96$.

Дане рівняння достовірно описує вплив досліджуваних факторів на врожайність амаранту. Множинний коефіцієнт $R = 0,98$. Коефіцієнт при опадах

(-0,0070) є від'ємним, що вказує на незначне зменшення врожайності при збільшенні кількості опадів. Коефіцієнт при температурі (-0,2482) також від'ємний і більший за модулем, що підтверджує негативний вплив підвищення температури на врожайність. Коефіцієнт при нормі добрив (+0,4425) має найбільше абсолютне значення і є позитивним, що показує суттєвий позитивний вплив підвищення норми добрив на врожайність. Ця модель має високу прогностичну здатність і може ефективно використовуватися для планування агротехнічних заходів при вирощуванні амаранту.

Дослідженнями встановлено, що найвищий рівень урожайності зерна амаранту сорту Ультра забезпечила норма мінерального удобрення $N_{200}P_{80}K_{120}$ – 2,28 т/га, що є на 1,43 т/га більше контрольного варіанту (рис. 5.11).



HP_{05} , т/га: 2019 р. – 0,43; 2020 р. – 0,53

Рис. 5.11. Врожайність амаранту сорту Ультра та окупність добрив залежно від рівня мінерального удобрення, т/га, середнє за 2019–2020 рр.

При цьому окупність кілограма д. р. мінеральних добрив приростом врожайності зерна амаранту становила 3,56 кг. Найвищий показник окупності

добрив зерном – 5,7 кг/кг д. р. було зафіксовано за норми удобрення $N_{40}P_{20}K_{40}$ – із рівнем урожайності 1,42 т/га.

Зв'язок між внесеними добривами та отриманою врожайністю амаранту дуже добре описує логарифмічна залежність:

$$Y = 0,8137 \ln X + 0,8544;$$

де Y - врожайність, т/га;

X - норми добрив.

Коефіцієнт детермінації: $R^2 = 0,99$.

Модель має високу прогностичну цінність і може надійно використовуватися для передбачення рівня урожайності. Логарифмічна лінія чітко демонструє закон спадкової віддачі: найбільший приріст врожайності відбувається при переході від контролю до першого рівня удобрення, потім ефект зменшується при подальшому збільшенні норми. Висока точність апроксимації (коефіцієнт детермінації: $R^2 = 0,99$) є додатковим свідченням якості проведеного експерименту та стабільності отриманих результатів.

Проведеними дослідженнями встановлено, що застосування мінеральних добрив забезпечувало значний приріст урожайності сортів амаранту. Якщо на контролі рівень врожайності сорту Харківський 1 становив 2,31 т/га то за найвищої норми добрив зріс на 2,57 т/га до рівня 4,88 т/га, тобто більш ніж у два рази. Найбільш ефективними добрива були на другому варіанті, про що свідчить те, що найвищий приріст урожайності (0,67 т/га) зафіксований при першому підвищенні норми добрив на $N_{40}P_{20}K_{40}$. На третьому варіанті за такого ж підвищення норми добрив ($N_{40}P_{20}K_{40}$) приріст урожайності теж залишився високим - 0,56 т/га.

Найбільший вплив на урожайність мали азотні добрива. Внесення додатково N_{40} на варіантах з нормою добрив $N_{120}P_{40}K_{80}$ та $N_{200}P_{80}K_{120}$ призвело до подальшого зростання рівня врожайності на 0,41 т/га та 0,34 т/га порівняно з попередніми варіантами. Тоді як підвищення норми калійних добрив на K_{40} на останньому варіанті не забезпечувало істотного (0,04 т/га) приросту

урожайності. Підвищення норми внесення мінеральних добрив з контрольного варіанту без добрив до $N_{200}P_{80}K_{160}$ забезпечує збільшення урожайності зерна амаранту сорту Харківський 1 з 2,31 т/га до 4,88 т/га, або на 2,57 т/га.

Результати досліджень свідчать, що в умовах Лісостепу західного, сорт амаранту Ультра істотно реагує на застосування мінеральних добрив та забезпечує формування сталих врожаїв. При застосуванні норми мінерального удобрення $N_{200}P_{80}K_{120}$ було отримано найвищі показники структури врожаю та рівня урожайності – 2,28 т/га.

5.3 Вплив норми висіву насіння на врожайність сортів амаранту

У наших дослідженнях сорт амаранту мав значний вплив на урожайність. Так, найвищу врожайність забезпечував сорт Харківський 1, і залежно від норми висіву вона становила 4,63 – 4,14 т/га (табл. 5.3).

Таблиця 5.3

Урожайність амаранту залежно від сорту і норми висіву, т/га, середнє за 2020-2022 рр.

Сорт	Норма висіву, млн/га схожих насінин						Середнє за сортами
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2 (контроль)	
Ультра (контроль)	2,46	2,54	2,63	2,73	2,78	2,70	2,64
Харківський 1	4,42	4,63	4,55	4,42	4,26	4,14	4,40
Ацтек	2,66	2,78	2,92	3,00	2,91	2,83	2,85
Лєра	3,72	3,95	3,90	3,78	3,70	3,58	3,77
Сем	3,31	3,48	3,61	3,60	3,47	3,28	3,46
Студентський	3,03	3,12	3,18	3,08	3,01	2,90	3,05
Середнє за нормами висіву	3,27	3,42	3,46	3,43	3,35	3,24	

НІР₀₅ 2020 р. – А – 0,07
В – 0,07
АВ – 0,18

2021 р. – А – 0,08
В – 0,08
АВ – 0,20

2022 р. А – 0,10
В – 0,10
АВ – 0,24

Високою залишалась урожайність зерна також у сорту Лера, в середньому за нормами висіву вона становила 3,77 т/га. У сорту Сем урожайність становила 3,46 т/га, а в сорту Студентський – 3,05 т/га. Урожайність у сортів Ацтек і Ультра була менше 3,0 т/га і становила відповідно 2,85 т/га і 2,64 т/га. Така закономірність формування урожаю у сортів була за всіх досліджуваних норм висіву.

Рівень впливу норми висіву на врожайність амаранту був незрівнянно нижчим (0,22 т/га), порівняно з впливом сорту (1,76 т/га) (рис. 5.12).

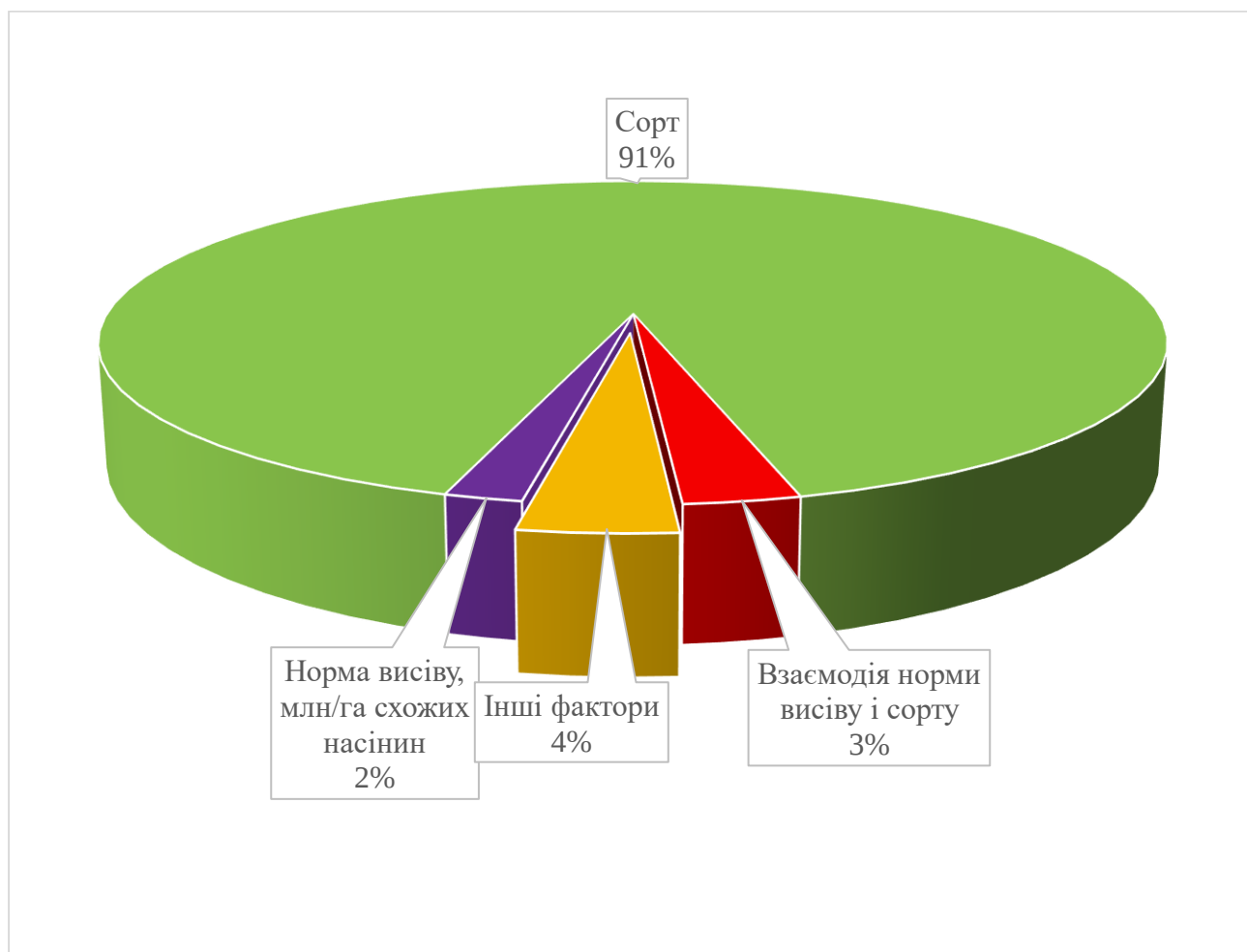


Рис. 5.12. Частка впливу норм висіву і сортових особливостей на формування врожайності амаранту, середнє за 2020 – 2022 рр.

За результатами кореляційно-регресійного аналізу встановлено помірний зворотний зв'язок між сортовими особливостями амаранту і рівнем врожайності, коефіцієнт кореляції становив $r = -0,67$, тоді як між нормою висіву і врожайністю дуже слабкий - $r = -0,03$.

Площина регресії має підйоми та спади, що вказує на нелінійну залежність врожайності від норм висіву (рис. 5.13).

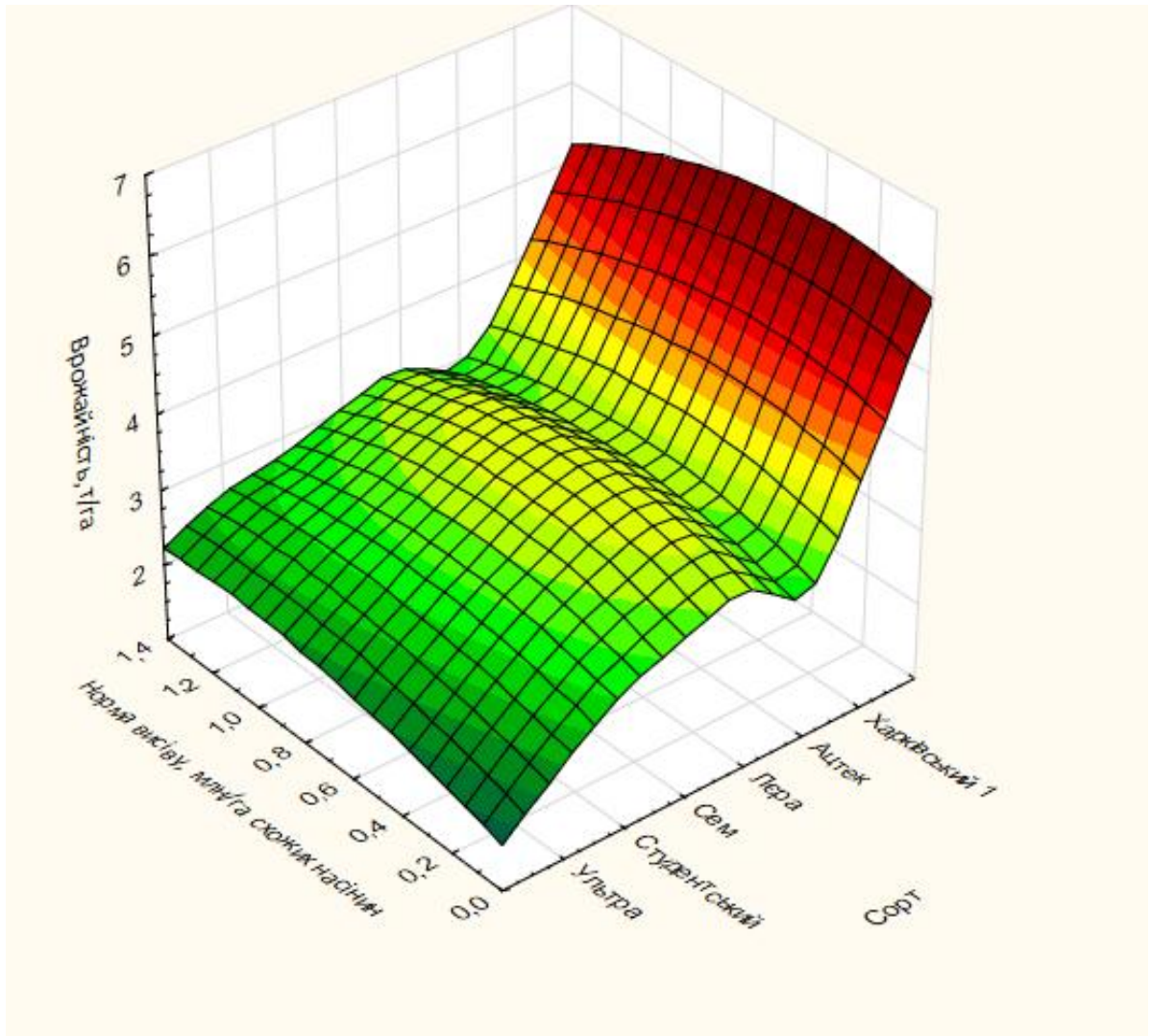


Рис. 5.13. Просторова 3Д модель регресії впливу норм висіву (млн/га схожих насінин) і сортових особливостей досліджуваних сортів амаранту на формування врожайності.

Залежність врожайності амаранту від сорту і норм висіву можна описати рівнянням регресії:

$$Y = 28,5933 - 0,051 X_1 - 0,2434 X_2;$$

де Y - врожайність, т/га;

X_1 - норма висіву, млн/га схожих насінин;

X_2 – сорт.

Коефіцієнт детермінації: $R^2 = 0,46$

Множинний коефіцієнт кореляції $R = 0,67$, що свідчить про порівняльний зв'язок між залежними та незалежними зміними. Рівняння припускає, що врожайність дещо зменшується з вищими нормами висіву та залежить від сорту амаранту. Зі збільшенням норми висіву відбувається певне зниження врожайності. Різні сорти мають різний вплив на врожайність. Найкраща комбінація для максимальної врожайності представлена за менших норм висіву.

Також сорти по різному реагували на досліджувані норми висіву. Високорослі сорти Харківський 1 та Лера найвищий рівень урожайності формували за норми висіву 0,4 млн/га, відповідно 4,63 т/га та 3,95 т/га (табл. 5.3). Високою вона залишалась також за висіву 0,6 млн/га - 4,55 т/га та 3,90 т/га. Збільшення чи зменшення норми висіву призводило у цих двох сортів до зниження урожайності. Коефіцієнт кореляції між сортом Харківський 1 та нормами висіву становить $r = -0,62$, що свідчить про помірно сильний зворотний зв'язок. Між сортом Лера і нормами висіву встановлено помітний зворотний зв'язок, коефіцієнт кореляції становить $r = -0,43$ (рис. 5.14).

У сорту Студентський спостерігалась подібна закономірність, лише норма висіву 0,6 млн/га забезпечувала дещо вищу врожайність (3,18 т/га) порівняно з нормою 0,4 млн/га (3,12 т/га). Сорт Сем найвищу врожайність формував за більших норм висіву; за висіву 0,6 млн/га урожайність становила 3,61 т/га, а за норми висіву 0,8 млн/га – 3,60 т/га. Коефіцієнт кореляції між сортом Студентський та нормами висіву становив $r = -0,38$, що свідчить про помітний зворотній зв'язок. Вплив норм висіву на формування врожайності сорту Сем не встановлений, коефіцієнт кореляції $r = -0,04$. Сорти з найменшою врожайністю вищу продуктивність забезпечували за ще більших норм висіву і в ширшому їх діапазоні. Так, у сорту Ацтек урожайність була вищою за норм висіву 0,6; 0,8; 1,0 млн/га, а в сорту Ультра – за норм висіву 0,6; 0,8; 1,0; 1,2 млн/га (рис. 5.14).

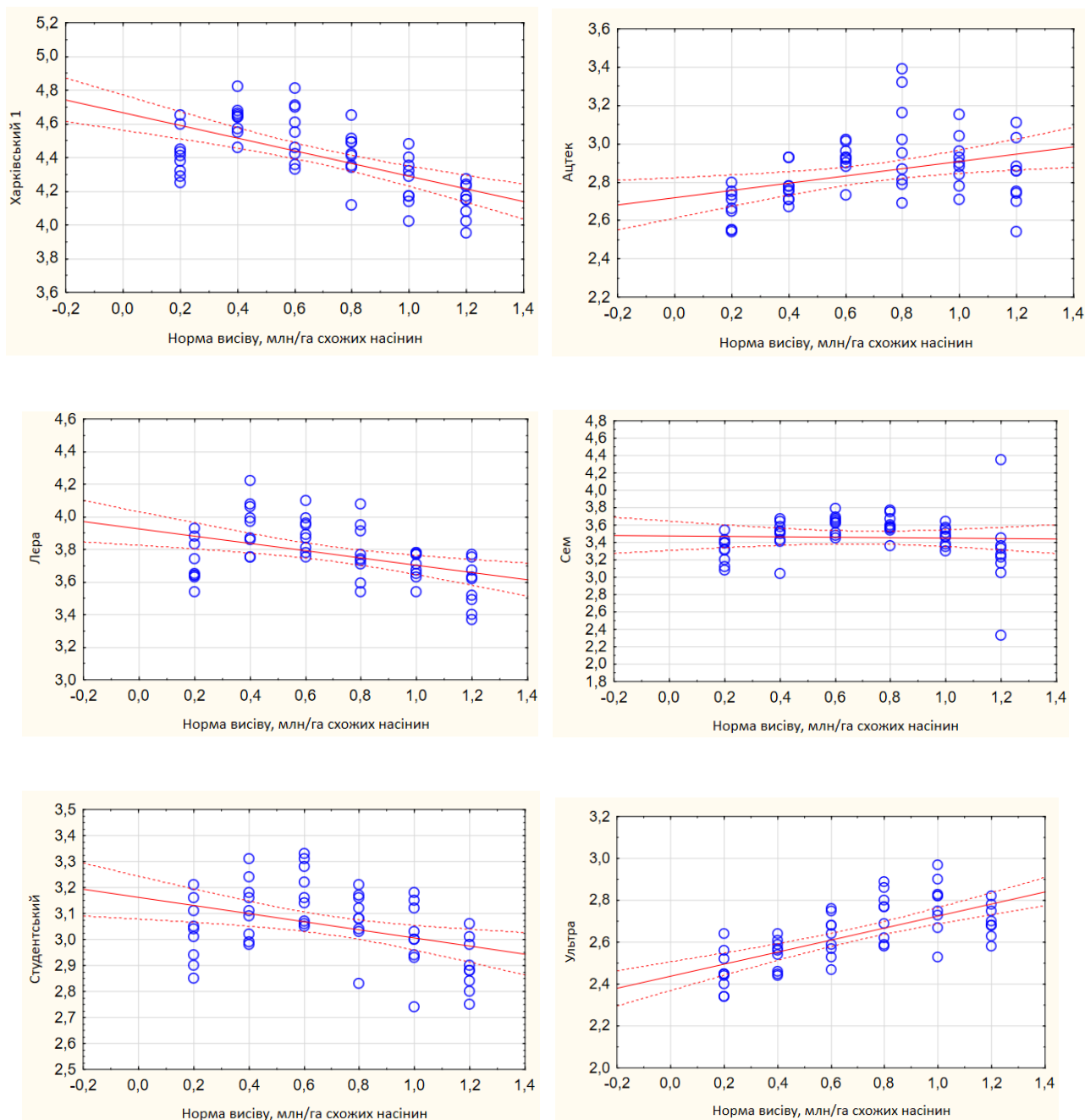


Рис. 5.14. Статистичні моделі залежності врожайності сортів амаранту від норм висіву.

Сорт Ультра найбільш позитивно реагував на збільшення норми висіву, коефіцієнт кореляції між сортом Ультра та нормами висіву становить $r = 0,68$ що свідчить про помірний зв'язок. Між сортом Ацтек і нормами висіву встановлено помітний зв'язок, коефіцієнт кореляції становить $r = 0,36$.

Отже, найменша врожайність в середньому за три роки в середньому за нормами висіву була в амаранту сорту Ультра. Сорти Ацтек та Студентський

забезпечили приріст урожайності порівняно з Ультра, відповідно на 0,21 т/га (8,0 %) та 0,41 т/га (15,5 %) (табл. 5.4).

Таблиця 5.4

Приріст урожайності залежно від сорту

Сорт	Урожайність, т/га	Приріст урожаю	
		т/га	%
Ультра (контроль)	2,64	-	-
Харківський 1	4,40	1,76	66,7
Ацтек	2,85	0,21	8,0
Лера	3,77	1,13	42,8
Сем	3,46	0,82	31,1
Студентський	3,05	0,41	15,5

У сорту Сем приріст урожайності становив 0,82 т/га (31,1 %). Сорти Харківський 1 та Лера переважали сорт Ультра відповідно на 1,76 т/га (66,7 %) та 1,13 т/га (42,8 %). Найменшою врожайність в середньому за всіма досліджуваними сортами була за максимальної норми висіву (табл.5.5).

Таблиця 5.5

Приріст урожайності залежно від норми висіву

Норма висіву, млн/га	Урожайність, т/га	Приріст урожаю	
		т/га	%
0,2	3,27	0,03	0,9
0,4	3,42	0,18	5,6
0,6	3,46	0,22	6,8
0,8	3,43	0,19	5,7
1,0	3,35	0,11	3,4
1,2 (контроль)	3,24	-	-

На варіанті з висівом 1,0 млн/га урожайність підвищилась до 3,35 т/га, що вище до норми висіву 1,2 млн/га, на 0,11 т/га (3,4 %). За норми висіву 0,8 млн/га

урожайність зросла на 0,19 т/га (5,7 %). Найбільший приріст одержано за норми висіву 0,6 млн/га – 0,22 т/га (6.8 %). Подальше зменшення норми висіву призводило до падіння приросту врожайності.

При детальнішому розгляді впливу норм висіву на формування врожайності сорту Харківський 1 встановлено, що найменша урожайність була за норми висіву 1,2 млн/га, де вона становила 3,76 т/га (табл. 5.6).

Таблиця 5.6

Урожайність зерна амаранту сорту Харківський 1 залежно від норм висіву, т/га

Норма висіву			Роки				Приріст	
шт/м ²	млн/га	кг/га	2020	2021	2022	Середнє	т/га	%
20	0,2	0,19	3,70	4,52	4,05	4,09	0,33	8,8
40	0,4	0,37	3,88	4,68	4,28	4,28	0,52	13,8
60	0,6	0,56	3,82	4,60	4,20	4,20	0,44	11,7
80	0,8	0,75	3,74	4,45	4,11	4,10	0,34	9,0
100	1,0	0,93	3,60	4,20	3,90	3,90	0,14	3,7
120	1,2	1,12	3,45	4,02	3,80	3,76	-	-
НІР ₀₅			0,05	0,05	0,03			

Урожайність залишалась низькою також на варіанті з висівом 1,0 млн/га. За норми висіву 0,8 млн/га урожайність зросла на 0,2 т/га, порівняно з нормою висіву 1,0 млн/га. На такому ж рівні (4,09 т/га) була урожайність зерна амаранту за найменшої норми висіву - 0,2 млн/га. Найвища врожайність формувалась за норм висіву 0,4 млн/га та 0,6 млн/га, відповідно 4,28 т/га та 4,20 т/га, що на 0,52 т/га та 0,44 т/га більше, порівняно з найменш урожайним варіантом. Необхідно зазначити, що найвищу врожайність одержано на варіантах з густотою рослин 21 шт/м² та 26 шт/м² і масою зерна з однієї рослини 0,91 г і 0,88 г.

Урожайність зерна амаранту змінювалась під впливом норм висіву. В умовах достатнього зволоження амарант негативно реагував на вищі норми

висіву і, відповідно, загущення посівів. Найвищу врожайність одержано в амаранту сорту Харківський 1 з нормою висіву 0,4 млн/га – 4,63 т/га. Оптимальні норми висіву для сортів амаранту є такі: Харківський 1, Лера і Студентський – 0,4-0,6 млн/га; сорт Сем – 0,6-0,8 млн/га; сорт Ацтек – 0,6 – 1,0 млн/га; сорт Ультра – 0,8 – 1,2 млн/га. Збільшення чи зменшення норми висіву для конкретного сорту призводить до падіння рівня врожайності.

Найвищу врожайність амарант сорту Харківський 1 за рівня мінерального удобрення $N_{120}P_{40}K_{80}$ формувалась за норм висіву 0,4 млн/га та 0,6 млн/га, відповідно 4,28 т/га та 4,20 т/га, що на 0,52 т/га та 0,44 т/га більше, порівняно з найменш урожайним варіантом. Необхідно зазначити, що найвищу врожайність одержано на варіантах з густотою рослин 21 шт/м² та 26 шт/м² і масою зерна з однієї рослини 0,91 г і 0,88 г.

5.4 Оптимізація способу сівби амаранту

Урожайність за вивчення способів сівби може бути різною і залежить від ґрунтово-кліматичної зони вирощування. Тому є актуальним встановлення способу сівби в умовах західного Лісостепу.

Дослідниками одержано різні експериментальні результати в процесі встановлення оптимальності способу сівби амаранту. Виявлено, що найвища врожайність формувалась за рядкового способу сівби [156]. В інших дослідженнях вивчення способів сівби показало перевагу міжрядь 18 см над міжряддями 60 см [340]. Зустрічаються рекомендації розміщувати амарант за схемою 15×15 см [227]. В умовах південного Степу при вирощуванні амаранту на зерно пропонується сіяти з нормою висіву 2,25 млн/га за ширини міжрядь 60 см [48, 86].

Проте більшість дослідників вважають, що найоптимальнішим способом є сівба з міжряддям 45 см [74, 189, 190, 200, 305, 308]. Для сорту амаранту Харківський 1 кращим способом сівби є широкорядним з міжряддями 45 см [107, 189]. За даними Дудки М. І. [71, 72, 74], в умовах північного Степу України амарант волотистий краще висівати широкорядним способом 45 см. Такі ж

результати отримав Когут С. Г. [83, 86], який вважає що оптимальним способом сівби амаранту при використанні на зерно для всіх досліджуваних сортів є широкорядний з міжряддями 45 см. Порівняно з двострічковим цей спосіб для сорту Ультра забезпечує прибавку в середньому за три роки 18,0 %.

На урожайність насіння амаранту сорту Лера способи сівби за однієї і тієї ж норми висіву впливали мало, що пояснюється елементами структури врожаю, які незначно відрізнялися між собою на варіантах з різними способами сівби. Найменшою врожайність у середньому за три роки була за сівби з міжряддями 60 см, де вона становила лише 3,70 т/га (табл. 5.7).

Таблиця 5.7

Урожайність насіння амаранту сорту Лера залежно від способу сівби, т/га

Спосіб сівби	Рік				Приріст урожаю до варіанту способу сівби з шириною міжряддя 60 см	
	2021	2022	2023	середнє	т/га	%
15 см	4,02	3,95	3,82	3,93	0,23	6,2
30 см	4,05	3,98	3,88	3,97	0,27	7,3
45 см	4,00	3,94	3,82	3,92	0,22	5,9
60 см	3,75	3,70	3,65	3,70	-	-
Середнє за роком	3,95	3,89	3,79			
НІР _{0,5} т/га	0,13	0,12	0,12			

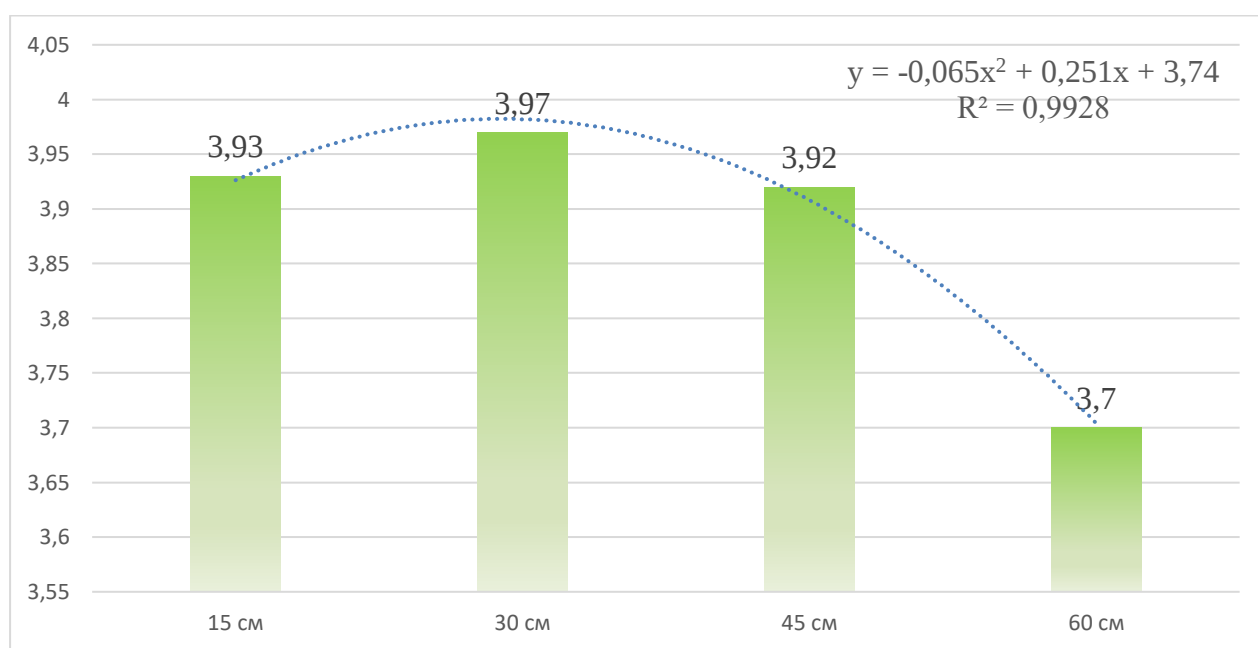
Найвищу врожайність одержано на варіанті з сівбою на 30 см – 3,97 т/га, що на 0,27 т/га більше порівняно з варіантом з міжряддями 60 см. Необхідно зазначити, що істотна різниця в урожайності була лише з варіантом 60 см. Порівняння способів сівби на 15 см, 30 см та 45 см показує що різниця в урожайності між ними була в межах помилки досліджень. За сівби з міжряддями 60 см і відстанню між рослинами в рядку 8 см (площа живлення 60х8 см -

втягнутий прямокутник) склалися несприятливі умови через надто щільне розміщення рослин в рядку.

Така густота посіву призвела до істотного зниження врожайності амаранту сорту Лера порівняно з іншими варіантами.

За сівби з міжряддями 15, 30 та 45 см, де площі живлення рослин і густота їх розміщення в рядках були більш оптимальними, врожайність амаранту була майже однаковою.

Графік на рис. 5.15 демонструє поліноміальну криву (параболу), яка описує залежність врожайності амаранту від ширини міжряддя.



НІР_{0,5} т/га: 2021 р. – 0,13; 2022 р. – 0,12; 2023 р. – 0,12

Рис. 5.15. Врожайність зерна амаранту сорту Лера залежно від способу сівби, т/га, середнє за 2021 – 2023 рр.

Рівняння цієї кривої: $y = -0,065x^2 + 0,251x + 3,74$. Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,9928$ свідчить про дуже високу точність апроксимації даних цієї кривої.

Форма параболи з від'ємним коефіцієнтом при x^2 показує на те, що існує оптимальна ширина міжряддя, після якої врожайність зменшується. Максимальна врожайність визначається за міжрядді 30 см, після чого

відбувається поступове зниження врожайності, з особливо помітним спадом при міжрядді 60 см.

Площина регресії чітко демонструє, що зі збільшенням ширини міжрядь (від 15 до 60 см) врожайність амаранту сорту Лера зменшується, що відображається кольоровим переходом від червоного (вищі показники врожайності) до зеленого (нижчі показники) (рис. 5.15).

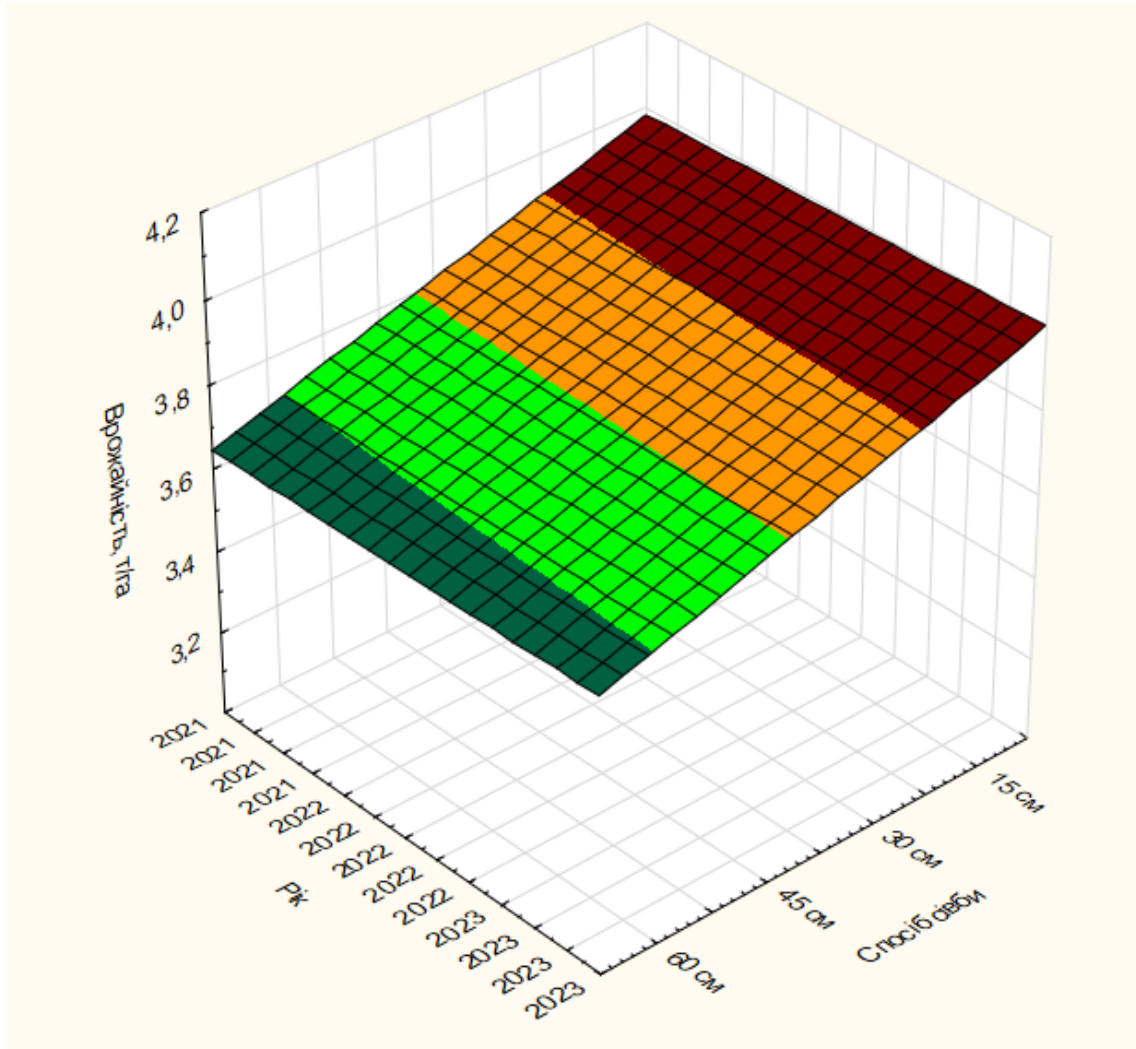


Рис. 5.16. Просторова 3Д модель регресії впливу способу сівби (см) і кліматичних умов в роки дослідження на формування врожайності амаранту сорту Лера.

Множинний коефіцієнт становить $R^2 = 0,44$, що свідчить про помітний зв'язок досліджуваних факторів і врожайності амаранту сорту Лера. Таким чином, для максимізації врожайності амаранту доцільно використовувати

способи сівби з міжряддями 30 - 15 см. Для забезпечення високої врожайності амаранту сорту Лера слід уникати надто щільного розміщення рослин у рядку за сівби з широкими міжряддями.

Отже, за різних способів сівби врожайність амаранту сорту Лера була схожою, але сівба з вузькими міжряддями забезпечувала рівномірніше розміщення рослин. Незважаючи на відстані між рядками (15, 30 чи 45 см), урожайність насіння амаранту була майже однаковою - в діапазоні 3,92-3,97 т/га. Максимальної врожайності 3,97 т/га було досягнуто за міжряддя 30 см, після чого відбувається поступове зниження врожайності, з особливо помітним спадом при міжрядді 60 см.

5.5 Вплив строків сівби на формування урожайності амаранту

Для розширення посівних площ амаранту в Україні необхідно вивчати та розробляти інтенсивні технології вирощування, що орієнтовані на конкретні ґрунтово-кліматичні зони. Потребують уточнення майже всі елементи технології вирощування амаранту, в тому числі строки сівби, особливо з врахуванням особливостей сорту.

За рекомендацією О. Дуди, у середній смузі (Дніпропетровська, Кіровоградська області) висівати амарант післязнівно на зерно можна до 20 липня. Ближче до півночі – до 15 липня, а на крайній півночі України – до 10 липня. У 2021 році посіви після 19 липня на Житомирщині не сформували насіння через низьку суму температур та ранні приморозки [166, 67, 69].

Сорт Ультра можна висівати до 15 липня, він досягає у жовтні, його потенціал до 3,5 т/га [13, 52]. Строки сівби 15 травня є оптимальними, а до 15 липня можна висівати ранній сорт Ультра [107].

Строки сівби та гідротермічні умови року впливали на рівень урожайності зерна амаранту. Результати кореляційно – регресійного аналізу показали вельми високий зворотний вплив строків сівби на формування урожайності амаранту сорту Лера, коефіцієнт кореляції становив $r = -0,94$.

Найвищу господарську врожайність зерна амаранту сорту Лера у середньому за три роки одержано за сівби 30 квітня – 3,62 т/га (табл. 5.8).

Таблиця 5.8

Урожайність зерна амаранту сорту Лера залежно від строків сівби, т/га.

Строки сівби	Роки			Середнє за 2021-2023рр.
	2021	2022	2023	
15 квітня	2,94	2,98	2,75	2,89
30 квітня	3,66	3,80	3,40	3,62
15 травня	3,20	3,24	3,01	3,15
30 травня	2,55	2,57	2,32	2,48
15 червня	1,57	1,60	1,33	1,50
30 червня	0,72	0,81	0,60	0,71
15 липня	-	-	-	-
30 липня	-	-	-	-
НІР _{0,5} т/га	0,15	0,18	0,20	

Високою була також урожайність за сівби 15 травня та 15 квітня. За сівби 30 травня урожайність зерна зменшилась до 2,48 т/га. За сівби у літні місяці формувалась дуже низька врожайність. Амарант, висіяний 15 та 30 липня жодного року не формував насіння.

Результати наших досліджень узгоджуються з даними інших авторів. Так, на думку Дуда О. та Капштик М. (2021) строки сівби амаранту без втрати майбутнього врожаю можна переносити до 1 червня, а з частковою втратою майбутньої урожайності — до 15 червня [75].

Моделювання подвійного впливу різних строків сівби і кліматичних умов в роки дослідження на зміну врожайності амаранту сорту Лера показано на рисунку 5.17.

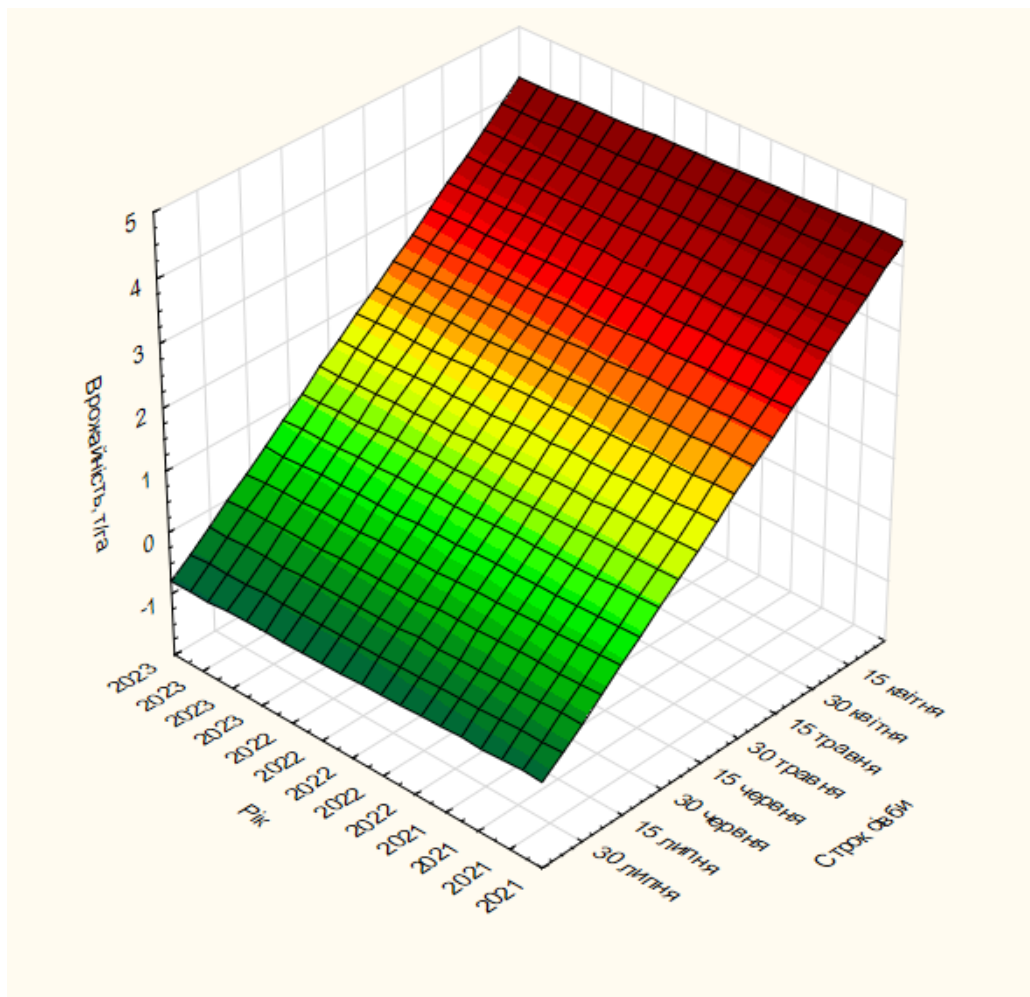


Рис. 5.17. Просторова 3Д модель регресії впливу строку сівби і кліматичних умов в роки дослідження на формування врожайності амаранту сорту Лєра.

3D-модель синергії дії досліджуваних факторів демонструє чітку обернену залежність між строками сівби та врожайністю, що підтверджується коефіцієнтом $-0,5551$ на рівні регресії. Це означає, що при пізнішій сівбі врожайність зменшується. На графіку видно, що вплив строку сівби є стабільним протягом усіх років досліджень (2021-2023 рр.), хоча спостерігаються певні річні коливання, які ймовірно пов'язані з кліматичними умовами конкретного року. Високий коефіцієнт детермінації ($R^2 = 0,89$) демонструє, що модель, яка враховує строки сівби та кліматичні умови, достатньо точно пояснює варіації врожайності. Отже, ранні строки сівби мають значно вищу врожайність відносно пізніших строків, і ця закономірність є стійкою в різних річних умовах.

Отже, оптимальні строки сівби амаранту сорту Лера в умовах західного Лісостепу України припадають на 30 квітня. Допустимі строки знаходяться в діапазоні від 15 квітня до 15 травня.

5.6 Урожайність амаранту залежно від глибини сівби

Для досягнення максимальної урожайності зерна амаранту необхідним є визначення оптимальної глибини сівби та вивчення впливу різної глибини посіву на ріст, розвиток та продуктивність рослин амаранту, що дозволить підвищити ефективність його вирощування та забезпечити стабільний урожай за різних агрокліматичних умов.

У наших дослідженнях найвища врожайність (3,88 т/га) зерна амаранту була за сівби на 2 см (табл. 5.9).

Таблиця 5.9

Урожайність амаранту сорту Харківський 1 залежно від глибини сівби, т/га

Глибина сівби, см	Роки			Середнє	Зміна врожайності	
	2022	2023	2024		т/га	%
1	3,75	3,60	3,66	3,67	-0,21	-5,4
2	3,90	3,83	3,89	3,88	-	-
3	3,47	3,42	3,52	3,47	-0,41	-10,6
4	2,40	2,30	2,41	2,37	-1,51	-38,9
5	1,67	1,55	1,63	1,62	-2,26	-58,2
НІР ₀₅ , т/га	0,15	0,17	0,18			

За глибини сівби на 1 см урожайність зменшилась на 0,21 т/га. Збільшення глибини загортання насіння до 3 см призвело до зменшення урожайності зерна до 3,47 т/га, що менше від другого варіанту на 0,41 т/га.

Різке падіння рівня врожайності відбулось за глибини сівби на 4 см. Порівняно з оптимальною глибиною сівби, урожайність знизилась до 2,37 т/га, або на 1,51 т/га. За сівби на 5 см формувалось лише 1,62 т/га, що менше порівняно

з глибиною 2 см на 2,26 т/га. Це пояснюється різким зниженням польової схожості, пізнішою появою сходів і відставанням у рості впродовж вегетації.

Результати кореляційно – регресійного аналізу показали вельми високий зворотний вплив глибини сівби на формування урожайності амаранту сорту Харківський 1, коефіцієнт кореляції становив $r = -0,92$.

Рівняння регресії демонструє сильну обернену залежність - кожен додатковий сантиметр глибини сівби призводить до зниження врожайності приблизно на 0,50 т/га (рис. 5.18).

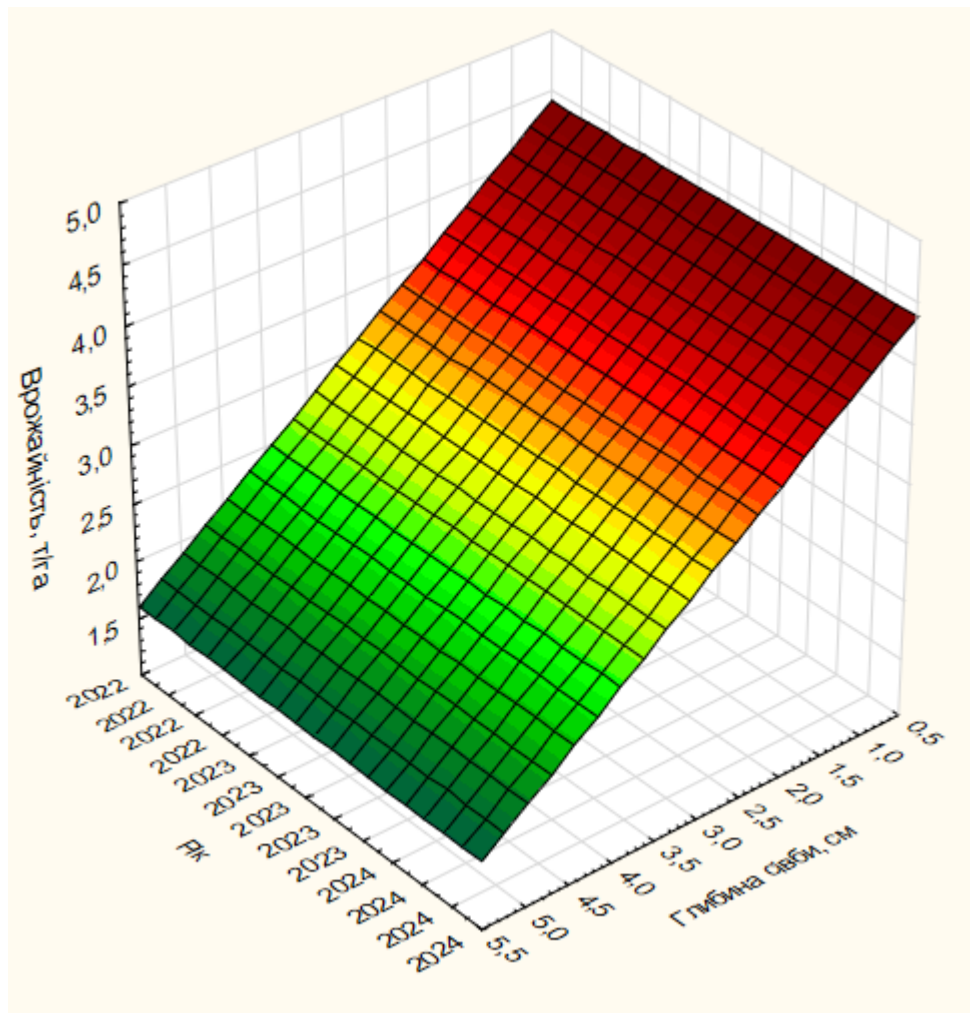


Рис. 5.18. Просторова 3Д модель регресії впливу глибини сівби (см) і кліматичних умов в роки дослідження на формування врожайності амаранту сорту Харківський 1.

Це надзвичайно високий показник, який підкреслює виняткову чутливість амаранту до глибини розміщення насіння.

Найвищі показники врожайності (4,5-5,0 т/га) спостерігаються при мінімальній глибині сівби (0,5-1,0 см). Це пояснюється біологічними особливостями амаранту: насіння амаранту надзвичайно дрібне і містить обмежений запас поживних речовин, що зменшує енергію проростання при глибокому заляганні [87, 274, 324, 521, 583]. Проростки амаранту мають низьку пробивну здатність ґрунту через дрібні розміри [67, 87].

Графік показує, що залежність врожайності від глибини сівби є стабільною протягом різних років досліджень, незважаючи на варіації кліматичних умов.

Високий коефіцієнт детермінації ($R^2 = 0,84$) свідчить про надійність цієї закономірності для практичного застосування в агрономії, підкреслюючи критичність точного контролю глибини сівби при вирощуванні амаранту.

Оптимальна глибина загортання насіння амаранту в умовах достатнього зволоження західного Лісостепу становить 2 см. Допустима глибина знаходиться в межах 1-3 см. Сівба глибше 3 см призводить до різкого зменшення продуктивності амаранту і є недоцільною.

Висновки до розділу 5

1. В умовах Лісостепу західного на темно-сірому опідзоленому легкосуглинковому ґрунті найвищу врожайність зерна (4,03 т/га) серед семи досліджуваних сортів амаранту одержано в сорту Харківський 1. Найменша урожайність формувалась у сорту Ультра (1,97 т/га), що менше порівняно з сортом Харківський 1 на 2,06 т/га.

2. Урожайність амаранту, як посухостійкої культури, зменшувалась у роки (2019 та 2020 рр.) з надмірною кількістю опадів у першій половині вегетації. Найвища врожайність (2,46-4,35 т/га) формувалась у 2021 році, в якому сума опадів у травні, червні і липні була в межах норми.

3. Встановлено, що застосування мінеральних добрив в умовах достатнього зволоження Лісостепу західного забезпечувало значний приріст урожайності амаранту. На контролі рівень врожайності сорту Харківський 1 становив 2,31 т/га, а за найвищої норми добрив $N_{200}P_{80}K_{160}$ зріс на 2,57 т/га до рівня 4,88 т/га, тобто більш ніж у два рази. Найбільш ефективними добрива були на другому і третьому варіантах із нормами $N_{40}P_{20}K_{40}$ і $N_{80}P_{40}K_{80}$, про що свідчить найвищий приріст урожайності (0,67 і 0,56 т/га), відносно попереднього варіанту, зафіксований при пропорційному підвищенні норми добрив.

4. Найбільший вплив на урожайність мали азотні добрива. Внесення додатково N_{40} на варіантах з нормою добрив $N_{120}P_{40}K_{80}$ та $N_{200}P_{80}K_{120}$ призвело до подальшого зростання рівня врожайності на 0,41 т/га та 0,34 т/га порівняно з попередніми варіантами. Тоді як підвищення норми калійних добрив на K_{40} на останньому варіанті не забезпечувало істотного (0,04 т/га) приросту урожайності.

5. В умовах Лісостепу західного сорт амаранту Ультра істотно реагував на застосування мінеральних добрив та забезпечив формування сталих врожаїв. При застосуванні норми мінерального удобрення $N_{200}P_{80}K_{120}$ було отримано найвищі показники структури врожаю та рівня урожайності – 2,28 т/га, що є на 1,43 т/га більше контрольного варіанту. Окупність кілограма д. р. мінеральних добрив приростом врожайності зерна амаранту за норми становила $N_{200}P_{80}K_{120}$ 3,56 кг.

6. Урожайність зерна амаранту змінювалась під впливом норм висіву. В умовах достатнього зволоження амарант негативно реагував на вищі норми висіву і, відповідно, загущення посівів. Найвищу врожайність одержано в амаранту сорту Харківський 1 з нормою висіву 0,4 млн/га – 4,63 т/га. Оптимальні норми висіву для сортів амаранту є такі: Харківський 1, Лера і Студентський – 0,4-0,6 млн/га; сорт Сем – 0,6-0,8 млн/га; сорт Ацтек – 0,6 – 1,0 млн/га; сорт Ультра – 0,8 – 1,2 млн/га. Збільшення чи зменшення норми висіву для конкретного сорту призводить до падіння рівня врожайності.

7. Найвищу врожайність амарант сорту Харківський 1 за рівня мінерального удобрення $N_{120}P_{40}K_{80}$ формувалась за норм висіву 0,4 млн/га та 0,6 млн/га, відповідно 4,28 т/га та 4,20 т/га, що на 0,52 т/га та 0,44 т/га більше, порівняно з найменш урожайним варіантом за норми висіву 1,2 млн/га. Необхідно зазначити, що найвищу врожайність одержано на варіантах з густотою рослин 21 шт/м² та 26 шт/м² і масою зерна з однієї рослини 0,91 г і 0,88 г.

8. За різних способів сівби врожайність амаранту сорту Лера була схожою, але сівба з вузкими міжряддями забезпечувала рівномірніше розміщення рослин. Незважаючи на різні відстані між рядками (15, 30 чи 45 см), урожайність насіння амаранту була майже однаковою - в діапазоні 3,92-3,97 т/га. Максимальної врожайності було досягнуто за міжряддя 30 см, після чого відбувається поступове зниження врожайності, з особливо помітним спадом при міжрядді 60 см.

9. Оптимальні строки сівби амаранту сорту Лера в умовах Лісостепу західного припадають на 30 квітня, врожайність зерна становив 3,62 т/га. Допустимі строки знаходяться в діапазоні від 15 квітня до 15 травня.

10. Оптимальна глибина загортання насіння амаранту в умовах достатнього зволоження західного Лісостепу становить 2 см. Допустима глибина знаходиться в межах 1-3 см. Сівба глибше 3 см призводить до різкого зменшення продуктивності амаранту і є недоцільною.

За матеріалами даного розділу автором опубліковано наукові праці [171, 172, 179, 184, 189, 192, 193, 194, 197, 197, 203, 561, 564, 565].

РОЗДІЛ 6.

ФОРМУВАННЯ УРОЖАЙНОСТІ АМАРАНТУ ЗАЛЕЖНО ВІД ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ РОСЛИН

6.1 Ефективність хімічних засобів регулювання чисельності бур'янів в посівах амаранту

Амарант належить до надзвичайно перспективних культур майбутнього, має потенціал для подолання деяких актуальних викликів сучасного сільського господарства, яке є частиною дуже нестабільних екологічних умов [253, 324, 385, 437, 517]. Культивування нових, нетрадиційних культур може супроводжуватись таким небажаним явищем як проникнення цих рослин у природні ценози. Необхідно зазначити, що переважна більшість видів щириці, поширені в Україні, мають темне забарвлення насіння. Лише 4 види (*A. paniculatus*, *A. caudatus*, *A. hypochondriacus*, *A. mantegazzianus*) мають насіння різних відтінків і кольорів – від темних до світлих. Окрім зовнішніх відмінностей насіння відрізняється також і здатністю до виживання. В результаті вивчення біологічних властивостей насіння рослин роду *Amaranthus* встановлено, що доцільним є культивування видів та сортів із світлим забарвленням, при осипанні насіння яких відсутні проблеми з падалицею [5, 6]. Світле насіння навесні не дає сходів. Стверджується що чорне насіння більш властиве для малопоширених диких видів, а світле - для добре окультурених високоврожайних [325, 545].

Шляхом проведення провокаційних посівів під зиму встановлено, що тільки чорнонасінні форми амаранту здатні утворювати падалицю. Це свідчить про можливість використання білонасінних форм амаранту без побоювань за утворення падалиці [29, 32, 34].

Вирощування амаранту створює дві проблеми. По-перше, втрати дрібного насіння під час збору врожаю є значними і падалиця амаранту може забур'янювати наступні культури в сівозміні [11, 68, 307, 393], а по-друге, амарант росте повільно після появи сходів і, отже, дуже чутливий до конкуренції з бур'янами [94, 274, 324, 399, 451]. Амарант має дрібні слабо конкуруючі сходи,

тому дуже страждає від бур'янів. Найбільшої шкоди вони завдають на початку розвитку амаранту – в перший місяць після появи сходів [11, 68, 69, 311, 451]. Після фази шести листків в амаранту інтенсивно росте коренева система, тому ріст у висоту сповільнюється [94, 220].

У технології вирощування амаранту майже не вивчено можливість застосування засобів захисту рослин. Якщо амарант, за існуючих невеликих площ посіву, майже не уражується хворобами, то з контролю за бур'янами і шкідниками є багато проблемних питань. Амарант спочатку росте дуже повільно і може сильно забур'янюватися. На площах, що призначені для лікарських цілей використовують біологічні методи контролю бур'янів. На промислових великих площах ці методи не будуть ефективними і без використання засобів захисту одержати високу урожайність буде неможливо. Тому потрібно вивчити можливість використання гербіцидів, їх ефективність, сортову реакцію амаранту на них.

Майже немає досліджень щодо стійкості амаранту до гербіцидів. За літературними даними, амарант дуже чутливий до гербіцидів проти широколистих бур'янів. Амарант демонстрував стійкість лише до таких діючих речовин: кломазон, клопіралід, фенмедифам і трифлусульфурон. Застосування кломазону у ранній післясходовій фазі замість досходової забезпечувало повну толерантність культури навіть при найвищих дозах. Післясходові гербіциди фенмедифам і трифлусульфурон завдавали менше шкоди культурам на стадії 4-6 листків порівняно зі стадією 2-4 листків, тоді як клопіралід був селективним на обох стадіях росту [68, 69, 393]. Про стійкість проти клопіраліду вказують також інші дослідники [307, 311].

В Україні відсутня реєстрація гербіцидів для використання при вирощуванні амаранту. У схемі досліджень (табл. 6.1) представлені найтолерантніші гербіциди до амаранту для ґрунтового та післясходового внесення, з оптимальною нормою внесення, встановлені експериментальним шляхом і є доцільними для контролювання чисельності бур'янів.

**Особливості застосування гербіцидів у досліді за вирощування
амаранту сорту Харківський 1**

№ варіа нту	Назва гербіциду, фірма	Діючі речовини, г/л; кг/га	Норма внесення	Строки внесення
1	Контроль	два міжрядних обробітки та ручне прополювання.		
2	Бетанал Макс Про (Betanal maxx Pro), Bayer	Phenmedipham, 60 + Desmedipham, 47 + Etofumesate, 75 + Lenacil, 27	1,25 л/га	Після сходів амаранту у фазі сім'ядоль у бур'янів (ВВСН 10)
3	Штефам (Stefam), Stefes	Phenmedipham, 320	1,0 л/га	2-6 листків амаранту (ВВСН 12)
4	Гезагард (Gezagard), Syngenta	Prometrin, 500	2,0 л/га	Відразу після сівби (ВВСН 01)
5	Команд (Command), FMC	Clomazone, 480	0,10 л/га	Відразу після сівби (ВВСН 01)
6	Карібу (Caribou), FMC	Triflurosulfuron- methyl, 500	0,02 кг/га	4-5 листків амаранту (ВВСН 13)
7	Лонтрел Гранд (Lontrell Grand), Syngenta	Clorpyralid, 750	0,1 кг/га	4-5 листків амаранту (ВВСН 13)

В умовах достатнього зволоження західного Лісостепу щорічно виникає проблема забур'янення посівів. У наших дослідженнях порівнювалась ефективність різних гербіцидів шляхом визначення залишкової забур'яненості.

Облік проводили в третій декаді липня в період формування найбільшої маси бур'янів. Характер забур'янення посіву визначає співвідношення між головними біологічними групами бур'янів, а ступінь забур'янення – кількість бур'янів (шт/м²) і їх маса (г/м²). Необхідно враховувати, що більша кількість бур'янів на одиниці площі за незначної маси наносить рослинам амаранту меншу шкоду, ніж велика їх маса навіть за суттєво меншої щільності.

Кількість бур'янів у посівах амаранту була невелика. Найменше їх було на варіанті з використанням гербіциду Гезагард (prometrin, 500) 1,6 шт/м² (рис.6.1).

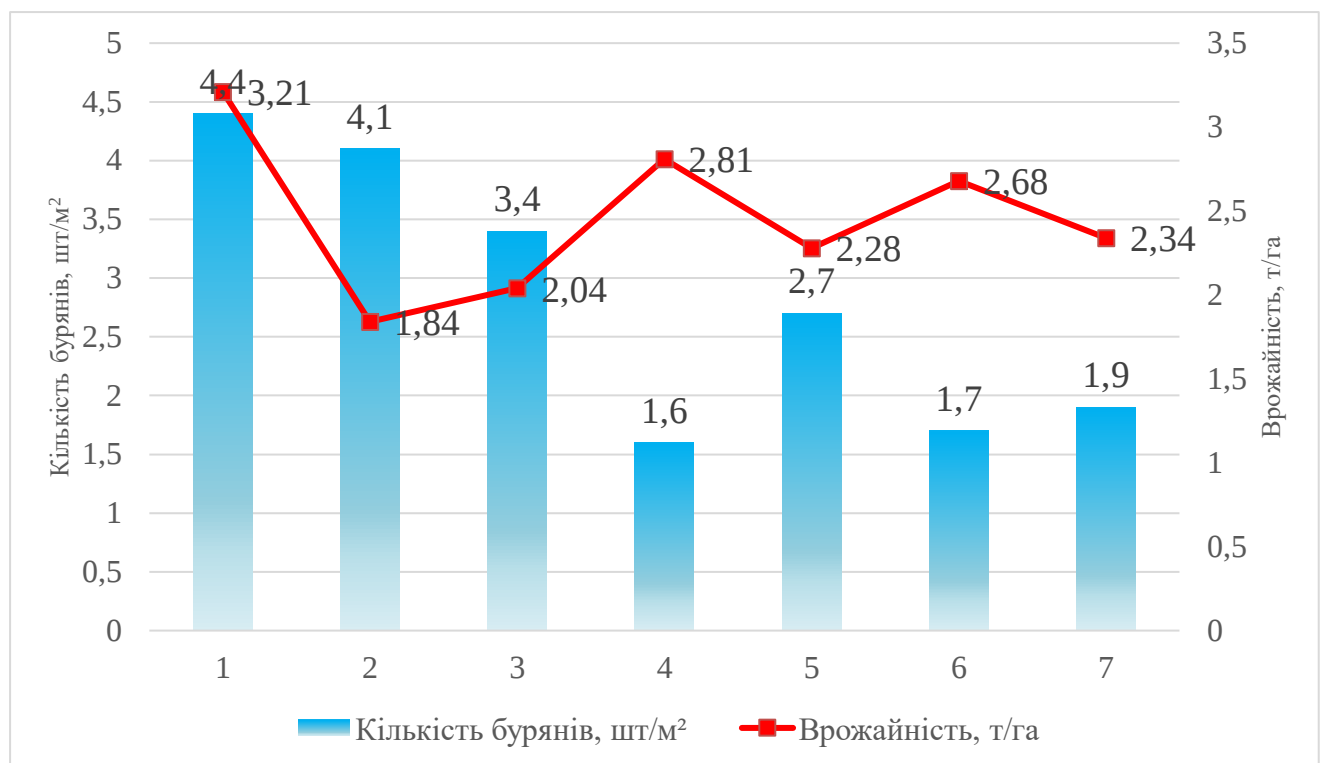


Рис. 6.1. Вплив гербіцидів на забур'яненість посіву та урожайність амаранту сорту Харківський 1.

За результатами статистичного аналізу встановлено сильний зворотний зв'язок між кількістю бур'янів та гербіцидом, коефіцієнт кореляції становив $r = -0,91$. Це можна пояснити доброю ефективністю гербіцидів у перші 40 днів вегетації амаранту. Також амарант має високу здатність до конкурентної боротьби з бур'янами за досягненням ним фази 10 листків. Швидке формування достатньої оптичної щільності посівів амаранту дозволяє надійно контролювати

появу рослин повторного літнього забур'янення. Гербіциди бетанальної групи на другому і третьому варіантах слабше контролювали рівень забур'янення та істотно пригнічували рослини амаранту (табл. 6.2).

Таблиця 6.2

Рівень забур'яненості посівів амаранту сорту Харківський 1 залежно від гербіциду, середнє за 2021-2023 рр. *

Види бур'янів	№ варіанту						
	1	2	3	4	5	6	7
Лобода біла (<i>Chenopodium album</i> L)	0,5/30	0,1/16	0,8/32	-	0,1/14	-	0,3/24
Підмаренник чіпкий (<i>Galium aparine</i> L)	0,3/15	0,2/10	0,2/12	0,1/14	-	0,2/11	0,2/14
Талабан польовий (<i>Thlaspi arvense</i> L)	0,3/15	0,1/14	-	-	-	-	0,3/18
Гірчиця польова (<i>Sinapis arvensis</i>)	0,3/18	0,1/10	0,2/10	-	0,1/10	0,1/12	0,4/19
Ромашка непахуча (<i>Tripleurospermum inodorum</i>)	0,5/25	0,4/21	0,6/24	0,1/10	0,2/12	0,1/12	-
Осот рожевий (<i>Cirsium arvense</i>)	0,4/28	0,4/26	0,5/23	0,3/20	0,4/20	0,4/20	-
Осот жовтий (<i>Sonchus oleraceus</i> L.)	0,4/22	0,3/19	0,3/21	0,2/16	0,2/17	0,3/18	-
Гірчак почечуйний (<i>Polygonum persicaria</i>)	0,4/18	1,4/40	0,2/14	0,2/20	0,5/19	0,1/12	0,2/15
Гірчак березковидний (<i>Polygonum convolvulus</i> L.)	0,5/21	0,3/18	0,4/17	0,3/15	0,6/23	0,3/15	0,3/18
Гірчак розлогий (<i>Polygonum scabrum</i> Moench.)	0,8/31	0,8/29	0,2/15	0,4/18	0,6/20	0,2/14	-
Всього	4,4/223	4,1/203	3,4/156	1,6/113	2,7/135	1,7/114	1,9/108

*Чисельник – шт/м², знаменник – г/м²

Маса бур'янів теж була меншою за внесення Гезагарду (prometrin, 500) (113 г/м²), а найнижчою за використання гербіциду Лонтрел Гранд (clorpyralid, 750) (108 г/м²).

Найбільш забур'яненним виявився контроль з 4,4 рослинами на м² та їх масою 223 г/м². Необхідно зазначити, що в проведених дослідженнях немає прямого кореляційного зв'язку з показниками маси і кількості бур'янів та урожайністю зерна амаранту.

Аналіз елементів структури врожаю добре показує пригнічувальну дію гербіцидів на рослини амаранту. Особливо яскраво це видно за показником висоти рослин. На контролі без хімічного контролю бур'янів висота рослин значно більша (220 см), порівняно з іншими варіантами (табл. 6.3).

Таблиця 6.3.

Елементи структури врожаю амаранту сорту Харківський 1 залежно від гербіциду, середнє за 2021-2023 рр.

№ варіанту	Гербіцид	Висота рослин, см	Довжини волоті, см	Маса зерна з рослини, г	Маса 1000 насінин, г
1	Контроль	220	64	18	0,84
2	Бетанал Макс Про 209 OD, Bayer	168	49	10	0,68
3	Штефам к.с., Stefes	170	51	12	0,73
4	Гезагард 500 FW, к. с., Syngenta	188	56	16	0,80
5	Команд 48 к.с., FMC	178	56	16	0,78
6	Карібу 50 з.п., FMC	171	51	14	0,70
7	Лонтрел Гранд в.г., Syngenta	180	51	14	0,74

Так, різниця між контролем та варіантом з внесенням гербіциду Бетанал Макс Про (phenmedipham, 60 + desmedipham, 47 + etofumesate, 75 + lenacil, 27) становить 52 см. За використання відносно толерантного до амаранту гербіциду Гезагард (prometrin, 500) висота рослин теж менша на 32 см.

Довжина волоті теж найбільша на контролі (64 см), і зменшується до 49-56 см на варіантах із застосуванням гербіцидів. Маса зерна з рослини змінюється в значному діапазоні і має сильний зв'язок з урожайністю, про що свідчить коефіцієнт кореляції $r = 0,87$.

Якщо на варіанті без внесення гербіцидів маса зерна становила 18 г з рослини, то при застосуванні препарату Бетанал Макс Про (phenmedipham, 60 + desmedipham, 47 + etofumesate, 75 + lenacil, 27) цей показник зменшився до 10 г внаслідок сильного гербіцидного стресу для рослин амаранту. Гербіциди негативно впливали також на масу 1000 насінин. На контролі вона становила 0,84 г, а на варіантах з проведенням хімічного способу боротьби з бур'янами знизилась до 0,68 – 0,80 г. Зменшення всіх елементів структури урожаю призвело до закономірного зниження урожайності зерна амаранту, незважаючи на те, що рівень забур'янення за внесення гербіцидів був нижчим. Це підтверджується результатами статистичного аналізу: виявлено сильний зв'язок між висотою рослин, довжиною волоті, масою 1000 насінин та урожайністю, де коефіцієнт кореляції становив $r = 0,84$, $r = 0,81$, $r = 0,76$ відповідно.

Для боротьби з бур'янами у посівах амаранту застосовують біологічні методи [56]. Боротьба з бур'янами здійснюється шляхом поверхневих обробітків перед сівбою, боронування, міжрядні розпушування, ручне прополювання [191; 13; 19]. Менша забур'яненість посівів амаранту була за якісного основного обробітку ґрунту та чотириразового обробітку після сівби [363]. Якісний передпосівний обробіток ґрунту та дво-триразове розпушення міжрядь забезпечувало вищу врожайність (3,35 т/га), ніж при використанні гербіцидів (2,49 т/га) [361]. На дуже засмічених ділянках потрібно застосовувати хімічний метод захисту [263]. Тому доцільним є також вивчення можливості внесення гербіцидів на посівах амаранту [477]. Як вказують Casini і ін. на даний час

гербициди для зернового амаранту в Європі, США та Південній Америці не зареєстровані [339].

За результатами наших досліджень, гербицид Бетанал Макс Про (phenmedipham, 60 + desmedipham, 47 + etofumesate, 75 + lenacil, 27) забезпечує певний контроль бур'янів, але одночасно на цьому варіанті формується найменша (1,84 т/га) врожайність у досліді (табл. 6.4).

Таблиця 6.4

Урожайність зерна амаранту сорту Харківський 1 залежно від гербициду, (середнє за 2021-2023 рр.), т/га

№ варіанту	Гербицид	Роки			Середнє за три роки	Приріст	
		2021	2022	2023		т/га	%
1	Контроль	3,22	3,35	3,06	3,21	-	-
2	Бетанал Макс Про 209 OD, Bayer	1,84	1,92	1,76	1,84	-1,37	-42,7
3	Штефам к.с., Stefes	2,12	2,16	1,84	2,04	-1,17	-36,4
4	Гезагард 500 FW, к.с., Syngenta	2,87	2,91	2,65	2,81	-0,40	-12,5
5	Команд 48 к.с., FMC	2,27	2,34	2,23	2,28	-0,93	-29,0
6	Карібу 50 з.п., FMC	2,71	2,79	2,54	2,68	-0,53	-16,5
7	Лонтрел Гранд в.г., Syngenta	2,39	2,43	2,20	2,34	-0,87	-27,1
НІР ₀₅		0,03	0,09	0,08			

Гербицид Бетанал Макс Про (phenmedipham, 60 + desmedipham, 47 + etofumesate, 75 + lenacil, 27) широко використовується при вирощуванні цукрового буряка і в багатьох рекомендаціях пропонується для використання в посівах амаранту, проте у наших дослідженнях він пригнічував рослини культури, крім того не забезпечував належного контролю бур'янів. Візуально підпалу рослин амаранту від внесення гербицидів не було ні на одному варіанті.

Проте рослини на деякий час сповільнювали ріст на всіх варіантах порівняно з контролем, що свідчить що вони зазнавали гербіцидного стресу.

Використання препарату Штефам (phenmedipham, 320) призводило до різкого зменшення врожайності порівняно з контролем на 1,17 т/га, він також виявився досить стресовим для амаранту.

Найбільш толерантним до рослин амаранту виявився гербіцид Гезагард (prometrin, 500). Урожайність за його внесення становила 2,81 т/га. Найвищу врожайність (3,21 т/га) одержано на контролі без використання гербіцидів. Біологічний метод боротьби з бур'янами майже не поступався за ефективністю хімічному методу, а рослини амаранту не зазнавали гербіцидного стресу.

Дослідження довели можливість ефективного контролю за бур'янами біологічними методами навіть в умовах достатнього зволоження. Це дозволить одержати екологічну продукцію, ціна на яку значно вища і підвищити рентабельність вирощування амаранту.

6.2 Ефективність фунгіцидного контролю найпоширеніших хвороб рослин амаранту

Амарант, як сільськогосподарська культура є цінним джерелом білку, вітамінів та мінералів. Важливою особливістю культури амарант є висока ефективність фотосинтезу. Подібно до кукурудзи, сорго, цукрової тростини, амарант відноситься до рослин з типом фотосинтезу C4. Амарант, як C4-рослина володіє високою інтенсивністю фіксації CO₂ в розрахунку на одиницю поверхні листка, швидко розвивається і росте, що сприяє високим темпам приросту біомаси. У зв'язку з цим для амаранту важливо не тільки формувати велику листову площу, але також забезпечити її захист від ураження фітопатогенами, збільшити тривалість функціонування. За існуючих на сьогодні невеликих посівних площ розвиток хвороб на рослинах амаранту є незначним. Однак із розширенням посівних площ та за сприятливих для розвитку збудників хвороб погодних умов та несприятливих для рослин умов вирощування в посівах можуть розвиватися мікози, спричинені грибами з родів *Fusarium*, *Cercospora*,

Colletotrichum, *Alternaria*, *Rhizoctonia*, *Pythium* і *Cladosporium*, а також вірусні захворювання.

Таким чином, питання підбору фунгіцидів та розробки ефективних заходів захисту рослин амаранту від хвороб на сьогодні є актуальними і такими, що потребують детального вивчення. За результатами досліджень, проведених Parveen M. і Khatun S., рекомендовано проти ураження грибом *Fusarium solani* використовувати препарати, що містять діючу речовину карбендазим, 500г/кг [497]. Дослідники Yashaswini M.S., Nysanth N.S. і Anith K.N. для захисту амаранту від ураження ризоктоніозом пропонують обприскувати рослини з інтервалом у два тижні препаратами, що містять манкоцеб (0,2 %), а також використовувати бактерії – антагоністи, які виділені з культивованих сортів амаранту [617]. У досліджах Talukder M.R. і ін., найефективнішим проти білої іржі був фунгіцид, що містив 640 г/кг манкоцебу та 40 г/кг металаксилу [576]. Вітчизняні вчені Дуда О. і Капштик М. повідомляють про досвід використання для протруювання насіння амаранту проти хвороб препарату, що містить тирам, 332 г/л + карбендазим, 148 г/л та внесення в фазі 5-6 справжніх листків фунгіциду з діючими речовинами флузілазол, 125 г/л + карбендазим, 250 г/л, а також у фазі ранньої бутонізації — препарату з діючою речовиною іпродіон, 500 г/кг [75].

Основними захворюваннями амаранту, виявленими нами на рослинах амаранту в наших дослідженнях, були антракноз, альтернаріоз та фомопсидоз. Розвитку хвороб сприяли затяжні дощі та тепла погода літніх місяців у роки проведення досліджень.

Антракноз амаранту (збудники — гриби з роду *Colletotrichum*) проявлявся в вигляді жовто-бурих плям на листках і тріщин та виразок на стеблах рослин. Фомопсидоз (збудники — гриби з роду *Phomopsis*) проявлявся, в основному, на стеблах рослин у вигляді витягнутих темно-коричневих плям, що призводило до розтріскування тканини в місцях ураження та відмирання листків. Симптоми альтернаріозу (збудники — гриби з роду *Alternaria*) на листках амаранту з'являлися пізніше в вигляді дрібних концентричних коричневих плям округлої або овальної форми.

На час обприскування амаранту досліджуваними препаратами в фазі викидання волоті ступінь ураження рослин основними хворобами був слабким і становив: антракноз — 2,54 %, фомопсидоз — 3,03 %, альтернаріоз — 2,01 %. На 3-й день після обприскування різниця в ураженні рослин прослідковувалася між варіантами досліду і контролем, але між самими варіантами не була помітною. На 7-й день після обприскування розвиток хвороб на варіантах з фунгіцидами дещо різнився залежно від внесеного препарату та наростав на контролі. Результати обліку ураження рослин амаранту основними хворобами на 15-й день після обприскування наведено в табл. 6.5.

Таблиця 6.5

Розвиток основних хвороб амаранту сорту Харківський 1 залежно від фунгіциду , середнє за 2022-2024 рр., %.*

Фунгіцид	Розвиток хвороб, %		
	антракноз	фомопсидоз	альтернаріоз
Контроль	10,5	14,7	16,2
Абакус, 12,5 % с.е. піраклостробін, 62,5 г/л + епоксиконазол, 62,5 г/л	2,5	4,5	5,6
Аканто Плюс, 28 % к.с. пікоксистробін, 200 г/л + ципроконазол, 80 г/л	3,2	3,0	4,0
Амістар Екстра, 28 % к.с. ципроконазол, 80 г/л + азоксистробін, 200 г/л	3,4	3,5	4,0
Квадріс Топ, 32,5 % к.с. азоксистробін, 200 г/л + дифеноконазол, 125 г/л	3,0	4,6	5,5
Медісон, 26,3 % к.с. протіоконазол, 175 г/л + трифлуксистробін, 88 г/л	3,2	4,8	4,0

*15 днів після застосування фунгіцидів

Застосування фунгіцидів ефективно обмежувало подальший розвиток збудників антракнозу, фомопсидозу та альтернаріозу на рослинах. Ураження рослин на варіантах з фунгіцидними препаратами було мінімальним порівняно до контролю (табл. 6.6).

Таблиця 6.6

Ефективність внесення фунгіцидів на амаранті сорту Харківський 1, середнє за 2022-2024 рр.

Фунгіцид	Ефективність дії, %		
	антракноз	фомопсидоз	альтернаріоз
Абакус, 12,5 % с.е. піраклостробін, 62,5 г/л + епоксиконазол, 62,5 г/л	10,51	14,70	16,25
Аканто Плюс, 28 % к.с. пікоксистробін, 200 г/л + ципроконазол, 80 г/л	76,25	69,41	65,40
Амістар Екстра, 28 % к.с ципроконазол, 80 г/л + азоксистробін, 200 г/л	69,53	79,63	75,30
Квадріс Топ, 32,5 % к.с. азоксистробін, 200 г/л + дифеноконазол, 125 г/л	67,64	76,22	75,34
Медісон, 26,3 % к.с. протіоконазол, 175 г/л + трифлористробін, 88 г/л	71,42	68,74	66,01
Абакус, 12,5 % с.е. піраклостробін, 62,5 г/л + епоксиконазол, 62,5 г/л	68,61	67,33	75,37

Встановлено високу (понад 75 %) ефективність дії фунгіциду Абакус, 12,5 % с.е. (піраклостробін, 62,5 г/л + епоксиконазол, 62,5 г/л) проти збудників

антракнозу амаранту, фунгіцидів Аканто Плюс, 28 % к.с. (пікоксистробін, 200 г/л + ципроконазол, 80 г/л) та Амістар Екстра, 28 % к.с. (ципроконазол, 80 г/л + азоксистробін, 200 г/л) — проти альтернаріозу та фомопсидозу, препарату Квадріс Топ, 32,5 % к.с. (азоксистробін, 200 г/л + дифеноконазол, 125 г/л) — проти антракнозу, препарату Медісон, 26,3 % к.с. (протіоконазол, 175 г/л + трифлуксистробін, 88 г/л) — проти альтернаріозу.

У таблиці 6.7 представлено результати нашого польового експерименту щодо впливу фунгіцидних препаратів на морфометричні показники та елементи структури врожаю амаранту сорту Харківський 1. Дослідження проводилося впродовж 2022-2024 років, що забезпечує достатню репрезентативність отриманих даних у різних погодно-кліматичних умовах.

Таблиця 6.7

Елементи структури врожаю амаранту сорту Харківський 1 залежно від фунгіциду, середнє за 2022-2024 рр.

№ варіанту	Фунгіцид	Висота рослин, см	Довжини волоті, см	Маса зерна з рослини, г	Маса 1000 насінин, г
1	Контроль	202	58	12, 1	0,78
2	Абакус, 12,5 % с.с.	208	60	12,8	0,80
3	Аканто Плюс, 28 % к.с.	210	61	12,9	0,82
4	Амістар Екстра, 28 % к.с.	212	62	12,7	0,82
5	Квадріс Топ, 32,5 % к.с.	209	60	12,7	0,81
6	Медісон, 26,3 % к.с.	208	60	12,6	0,81

Аналіз висоти рослин показує позитивний вплив усіх досліджуваних фунгіцидів порівняно з контрольним варіантом ($r = 0,55$). Приріст висоти стебла

рослин відносно контролю становив 6 – 12 см, залежно від використаного гербіциду.

Найбільшу висоту рослин амаранту спостерігали при застосуванні препарату Амістар Екстра 28 % к.с. - 212 см, що на 4,95 % перевищує контроль. Цей ефект узгоджується з відомими дослідженнями щодо впливу фунгіцидів груп стробілуринів на фізіологічні процеси рослин, зокрема на посилення фотосинтетичної активності та затримку старіння листкового апарату [575]

Довжина волоті як важливий морфологічний показник продуктивності амаранту також демонструє позитивну реакцію на фунгіцидні обробки, приріст відносно контролю знаходився в межах 2 – 4 см ($r = 0,44$). Максимальне значення цього показника зафіксовано у варіанті з Амістар Екстра 28 % к.с. - 62 см, що на 6,90 % більше контролю. Аканто Плюс, 28 % к.с. показав близькі результати - 61 см. Такий вплив пов'язаний з комплексним складом та широким спектром дії препаратів проти збудників.

Маса зерна з рослини як інтегральний показник продуктивності варіювала в межах 12,1-12,9 г. Найвищу продуктивність забезпечив фунгіцид Аканто Плюс, 28 % к.с. - 12,9 г, що перевищує контроль на 6,61 %. Важливо відзначити, що всі досліджувані препарати сприяли підвищенню цього показника, що підтверджує коефіцієнт кореляції ($r = -0,65$).

Маса 1000 насінин як показник якості насіннєвого матеріалу демонструє аналогічну тенденцію. Внаслідок зменшення інфекційного навантаження та покращення фізіологічного стану рослин, максимальні значення отримано при застосуванні Аканто Плюс 28 % к.с. та Амістар Екстра 28 % к.с. - 0,82 г, що на 5,13 % перевищує контрольний варіант ($r = 0,64$).

Загалом результати дослідження підтверджують концепцію комплексного впливу сучасних фунгіцидів на рослини, яка включає не лише пряму протигрибкову дію, але й фізіологічні ефекти, які сприяють оптимізації ростових процесів та елементів формування продуктивності. Особливо це стосується препаратів, що створюють діючі речовини з груп стробілуринів та триазолів, які, згідно з численними дослідженнями, здатні впливати на активність ферментів

фотосинтезу та дихання, підвищуючи загальний фізіологічний стан рослин амаранту [284, 575].

Результати наших досліджень демонструють статистично достовірний позитивний вплив усіх досліджуваних фунгіцидів на урожайність зерна амаранту сорту Харківський 1 порівняно з контрольним варіантом. $НІР_{05}$ складає 0,15 – 0,17 т/га, що підтверджує достовірність отриманих результатів.

Спостерігається виражена різниця в урожайності між роками дослідження. Сприятливішим для формування врожаю 2022 рік виявився - у всіх варіантах урожайність була вищою. Це пов'язано з різними погодно-кліматичними умовами вегетаційних періодів. Червень і липень 2023 року характеризуються великою кількістю опадів, відповідно 107,8 і 120 мм, що сприяло розвитку хвороб і зниженню рівня урожайності.

За роки досліджень найвищу ефективність продемонстрував фунгіцид Амістар Екстра 28 % к.с. з урожайністю зерна амаранту 3,87 т/га та приростом відносно контрольного варіанту 9,94 % (табл. 6.8).

Таблиця 6.8

**Вплив фунгіцидів на урожайність зерна амаранту сорту Харківський1,
середнє за 2022-2024 рр.**

Фунгіцид	Урожайність, т/га	Приріст	
		т/га	%
Контроль	3,52	-	-
Абакус, 12,5 % с.е.	3,74	0,22	6,25
Аканто Плюс, 28 % к.с.	3,83	0,28	7,95
Амістар Екстра, 28 % к.с	3,87	0,35	9,94
Квадріс Топ, 32,5 % к.с.	3,80	0,31	8,81
Медісон, 26,3 % к.с.	3,75	0,23	6,53

$НІР_{05}$: 2022 р. - 0,16 т/га; 2023 р. – 0,17 т/га; 2024 р. – 0,15 т/га.

Цей препарат містить азоксистробін зі групи стробілуринів, який відомий своїми фізіологічними ефектами на рослини, включаючи затримку старіння

листя, покращення фотосинтетичної активності та підвищення стійкості до стресових факторів [575]. Другий за ефективністю препарат - Аканто Плюс 28 % к.с., забезпечив урожайність 3,83 т/га з приростом 8,81 %. Це комбінований фунгіцид, що містить пікоксистробін (стробілуридин) та ципроконазол (тріазол), поєднуючи переваги обох груп фунгіцидів. Фунгіцид Квадріс Топ 32,5 % к.с. показав урожайність зерна амаранту 3,80 т/га з приростом 7,95 %. Цей препарат містить азоксистробін та дифеноконазол, що забезпечує синергетичний ефект стробілуридину та тріазолу. Дещо менш ефективними виявилися фунгіциди Медісон, 26,3 % к.с. - 6,53 % приросту, та Абакус 12,5 % с.е. - 6,25 % приросту, хоча їх вплив також був статистично достовірним.

Позитивний вплив стробілуридинових та тріазолових фунгіцидів на урожайність сільськогосподарських культур широко задокументований у науковій літературі. Дослідження на озимій пшениці показали, що застосування стробілуридинів у поєднанні з тріазолами забезпечує вищі урожаї завдяки покращенню фотосинтетичної активності, затримці старіння листя та підвищенню стресостійкості рослин [284, 575].

Фізіологічні ефекти стробілуридинів пов'язані з їх впливом на мітохондріальне дихання, що призводить до зміни гормонального балансу рослин, зокрема підвищення рівня цитокінінів та зниження продукції етилену. Ці зміни сприяють затримці старіння листя, збереженню фотосинтетичної активності та покращенню перерозподілу поживних речовин у рослині [284].

Тріазолові фунгіциди також проявляють позитивні фізіологічні ефекти завдяки інгібуванню біосинтезу гіберелінів та етилену, що призводить до покращення архітектури рослин та підвищення стійкості до полягання. Отримані результати узгоджуються з даними багатьох досліджень, які демонструють позитивний вплив сучасних фунгіцидів на урожайність зернових культур навіть за відсутності значного інфекційного навантаження [284, 575].

Найкращі результати досягаються при використанні комбінованих препаратів, що поєднують стробілуридини та тріазоли, завдяки їх синергетичній дії як на контроль патогенів, так і на фізіологічні процеси рослин.

Встановлено ефективність застосування фунгіцидних препаратів на початку фази бутонізації, що містять у своєму складі дві діючі речовини — з групи триазолів та стробілуринів. За роки досліджень найвищу ефективність продемонстрували фунгіциди Амістар Екстра 28 % к.с. з урожайністю 3,87 т/га та приростом відносно контрольного варіанту 9,94 %, та Аканто Плюс 28 % к.с., з урожайністю 3,83 т/га з приростом 8,81 %.

6.3 Ефективність інсектицидного контролю шкідників амаранту

Спеціалізована шкідлива ентомофауна амаранту (*Amaranthus spp.*) станом на сьогодні не сформована, оскільки не зареєстровано видів комах, що живляться виключно цією культурою. Дане явище, як зазначають Дуда О. і Капштик, суттєво спрощує розробку інтегрованих систем захисту амаранту, оскільки не потребує створення специфічних заходів контролю. Ентомокомплекс амаранту представлений переважно поліфагами, які пошкоджують також інші сільськогосподарські культури, зокрема представників родин лободових (*Chenopodiaceae*) та хрестоцвітих (*Brassicaceae*).

На даний час, за нашими спостереженнями, особливої проблеми із захистом посівів амаранту від шкідників немає. Проте розширення посівних площ цієї культури вимагатиме ефективних методів контролю шкідників. Особливо це стане актуальним за вирощування амаранту за інтенсивними технологіями. Тому завданням наших досліджень було виявити види і кількість шкідників, ефективні інсектициди для їх контролю.

Маршрутними обстеженнями встановлено, що найпоширенішими шкідниками в посівах амаранту в умовах достатнього зволоження є попелиці бобові, слимаки та хрестоцвіті блішки. Поширення хрестоцвітих блішок та слимаків можна пояснити великою площею посіву озимого та ярого ріпаку поблизу амаранту (1-10 км). З рослин ріпаку вони мігрують на амарант. Найближчі посівні площі цукрового буряка знаходилися на значній відстані (понад 50 км), тому шкідники, що пошкоджують рослини буряка цукрового, відсутні.

Початок заселення попелицями було відмічено у фазі 4-6 листків, і на контрольному варіанті тривало до фази цвітіння. Обприскування інсектицидом проти попелиць проводили у фазі 6-8 листків. На контролі шкідник виснажував рослини, але це не спричиняло їх загибель. Проте, такі рослини відставали у рості, у них формувалася рихла та вкорочена волоть, не утворювалася зав'язь.

Одержані результати свідчать, що застосування інсектицидів зменшувало на 77,7 - 85,8 % чисельність попелиць та на 78,7-87,6 % чисельність хрестоцвітої блішки (табл. 6.9).

Таблиця 6.9

Ефективність застосування інсектицидів для захисту рослин амаранту сорту Харківський 1 від шкідників, середнє за 2022-2024 рр.

Інсектициди	Діюча речовина, г/л	Норма внесення, л/га	Технічна ефективність, %	
			Попелиці	Хрестоцвіті блішки
Контроль	-	-	0	0
Бі 58-новий 40 % к. е.	диметоат, 400	1,0	83,43	85,55
Децис-фЛюкс 25 % к. е.	дельтаметрин, 100	0,15	79,51	81,13
Енжіо 24,7 % к. с.	тіаметоксам, 141 + лямбда- цигалотрин, 106	0,20	85,85	87,62
Ф'юрі 10 % в. е.	зета- циперметрин, 100	0,10	77,74	78,74
Актара 2,5 % в. г.	тіаметоксам, 250	0,15	84,52	86,25

Тобто, усі препарати мали високу ефективність щодо захисту від попелиць та хрестоцвітих блішок. Найвища технічна ефективність спостерігалась на

варіантах з внесенням інсектициду Енжіо 24,7 % к. с., відповідно 85,8 % та 87,6 %. Застосування препарату Актара 2,5 % в. г. забезпечило технічну ефективність на рівні 84,5 % та 86,2 %. Інсектицид Бі 58-новий 40 % к. е. знищував у посівах амаранту 83,4 % попелиць та 85,5 % хрестоцвітих блішок. Препарати Децис-fЛюкс 25 % к. е. та Ф'юрі 10 % в. е. мали дещо нижчу ефективність, порівняно з іншими досліджуваними інсектицидами. Інші шкідники у наших дослідженнях зустрічалися в дуже малій кількості і не створювали загрози для рослин амаранту.

Слимак поширився в Україні орієнтовно з 2008 року, одночасно із різким збільшенням посівних площ озимого ріпаку [144]. Перші обробки на великих площах (тисячі гектарів) проводили саме на цій культурі. Тепер це проблемний шкідник на всіх культурах у західних областях. Їдять навіть молоді листки цибулі та часнику. Найбільшої шкоди слимаки завдають на початкових фазах росту. Невеликі опади, роси, тепла погода підвищують активність слимаків, їх рухливість та інтенсивність поїдання. За значного поширення за добу можуть з'їсти до 60 кг листків на 1 га [144]. Проблемою є те, що в Україні відсутня офіційна реєстрація будь-яких моллюскоцидів.

У наших дослідженнях використовували два моллюскоциди (табл. 6.10).

Таблиця 6.10

Захист рослин амаранту сорту Харківський 1 від пошкодження рудим іспанським слимаком (*Arion lusitanicus*), середнє за 2022-2024 рр.

Варіант	Діюча речовина	Норма внесення, кг/га	Слимаки, шт/м ²	
			Фаза 10 листіків	Фаза формування суцвіть
Контроль	-	-	3	6
Slimax 04GB	metaldehyd, 4 %	4,0	0	2
Mesurool Alimax 02RB	merkaptodimetur, 2 %	5,0	0	1

Вносили їх за першої появи слимаків, їх сріблястих слідів та наявності пошкоджень рослин. Препарати в значній мірі зменшували присутність слимаків, що видно у порівнянні з контролем. Ефективність їх діючих речовин була приблизно однаковою. Особливо сильною була дія моллюскоцидів у фазі 10 листків. Необхідно відзначити значні труднощі в обліку слимаків, особливо на пізніших фазах росту амаранту. Знаходили їх як на поверхні ґрунту, так і на стеблі, волоті і навіть на верхівках рослин. Шкідник веде нічний спосіб життя, тому облік проводили в ранкові години (6-7 год). Крім того, шкідники поширювались з необроблених ділянок на оброблені, що теж ускладнювало їх облік. У пізніших фазах росту на добре розвинутих високих рослинах шкода від слимаків не була такою відчутною, як у фазі 10 листків. Результати досліджень показали, що в умовах достатнього зволоження для якіснішого контролю слимаків можливо буде доцільним дворазове внесення препаратів.

Аналіз даних показує, що застосування різних інсектицидів впливає на структурні елементи врожаю амаранту сорту Харківський 1 порівняно з контрольним варіантом.

На контрольному варіанті досліду рослини показали висоту 203 см, що відповідає морфологічним особливостям цього сорту. Застосування інсектицидів загалом призводило до незначного зменшення висоти рослин. Інсектициди Бі 58-новий 40 % к. е., Енжіо 24,7 % к. с. та Актара 2,5 % в. г. знижували висоту до 200-201 см. Дослідження впливу тіаметоксаму на пшеницю показали, що цей інсектицид може впливати на розвиток кореневої системи та загальний ріст рослин [309].

Довжина волоті, як важливий елемент структури врожаю, зазнавала незначного впливу від інсектицидних обробок. Найменші значення цього показника (55 см) спостерігалися при застосуванні препаратів Енжіо 24,7 % к. с. та Актара 2,5 % в. г., які містять тіаметоксам (табл. 6.11). Дослідження впливу тіаметоксаму показали, що цей інсектицид може впливати на морфологічні характеристики рослин, включаючи розвиток репродуктивних органів [309].

**Елементи структури врожаю амаранту сорту Харківський 1 залежно
від інсектициду, середнє за 2022-2024 рр.**

Інсектициди	Діюча речовина, г/л	Висота рослин, см	Довжини волоті, см	Маса зерна з рослини, г	Маса 1000 насінин, г
Контроль	-	203	57	12,0	0,77
Бі 58-новий 40 % к. е.	диметоат, 400,	200	56	12,5	0,80
Децис-фЛюкс 25 % к. е.	дельтаметрин, 100	201	57	12,3	0,79
Енжіо 24,7 % к. с.	тіаметоксам, 141 + лямбда- цигалотрин, 106	200	55	12,7	0,81
Ф'юрі 10 % в. е.	зета- циперметрин, 100	201	56	12,3	0,79
Актара 2,5 % в. г.	тіаметоксам, 250	201	55	12,7	0,81

Найбільш важливим показником продуктивності є маса зерна з рослини. Усі досліджувані інсектициди сприяли підвищенню цього показника порівняно з контролем. Найкращі результати показали препарати, що містять тіаметоксам (Енжіо 24,7 % к. с. та Актара 2,5 % в. г. 2,5 % в. г.) - 12,7 г проти 12,0 г на контролі. Тіаметоксам характеризується системною дією та здатністю поглинатися рослиною через коріння з подальшим транспортуванням по ксилемі [309], що може пояснювати його позитивний вплив на продуктивність.

Маса 1000 насінин також збільшувалася під впливом інсектицидних обробок. У дослідженнях амаранту відзначається, що маса 1000 насінин може

варіювати від 0,77 до 0,91 г залежно від умов вирощування та сорту [29, 274, 324]. У наших дослідженнях всі препарати підвищували цей показник з 0,77 г у контролі до 0,79-0,81 г.

Дельтаметрин належить до групи піретроїдних інсектицидів і характеризується високою ефективністю проти шкідників, при цьому застосування Децис-f Люкс 25 % к. е. показало помірний позитивний вплив на продуктивність амаранту. Аналогічно, Бі 58-новий 40 % к. е., який належить до органофосфатних інсектицидів, широко використовується для захисту рослин [68, 69, 127, 142, 143, 329] і в наших дослідженнях також сприяв підвищенню врожайності.

Загалом, результати свідчать про те, що застосування досліджуваних інсектицидів не мало негативного впливу на розвиток амаранту сорту Харківський 1, а навпаки, сприяло підвищенню продуктивності рослин, особливо при використанні препаратів на основі тіаметоксаму. Це відбулося внаслідок захисту рослин від пошкодження шкідниками (табл. 6.12).

Таблиця 6.12

**Вплив інсектицидів на урожайність зерна амаранту сорту
Харківський 1, середнє за 2022 - 2024 рр.**

Інсектициди	Діюча речовина, г/л	Урожайність, т/га	Приріст	
			т/га	%
Контроль	-	3,45	-	-
Бі 58-новий 40 % к. е.	диметоат, 400,	3,72	0,27	7,83
Децис-fЛюкс 25 % к. е.	дельтаметрин, 100	3,62	0,17	4,93
Енжіо 24,7 % к. с.	тіаметоксам, 141 + лямбда-цигалотрин, 106	3,90	0,45	13,04
Ф'юрі 10 % в. е.	зета-циперметрин, 100	3,57	0,12	3,48
Актара 2,5 % в. г.	тіаметоксам, 250	3,86	0,41	11,88

НІР₀₅: 2022 р. – 0,14 т/га; 2023 р. – 0,12 т/га; 2024 р. – 0,12 т/га

Контрольний варіант показав середню урожайність 3,45 т/га, в тому числі 3 найнижчий показник 3,36 т/га у 2023 році. Це свідчить про те, що без застосування засобів захисту рослин культура більш чутлива до несприятливих погодних факторів та тиску шкідників, особливо за несприятливих погодних умов.

Найвищі показники урожайності в роки досліджень продемонстрував препарат Енжіо 24,7 % к.с., який забезпечив 3,90 т/га у середньому за роки досліджень. Це підтверджує високу ефективність комбінованого препарату на основі тіаметоксаму та лямбда-цигалотрину навіть в умовах мінливих погодних факторів.

Інсектицид Актара 2,5 % в.г. також показала стабільно високі результати: 3,86 т/га. Інсектициди Бі 58-новий 40 % к. е. та Децис-f Люкс 25 % к. е. показали середні результати ефективності. Бі 58-новий забезпечив у середньому 3,72 т/га, а Децис-Люкс 25 % к. е.- 3,62 т/га. Найменшу ефективність продемонстрував Ф'юрі 10 % в.е. з показниками 3,57 т/га. Цей препарат показав найменшу різницю між роками, що може вказувати на його обмежену ефективність незалежно від погодних умов.

Порівняння показників за роками свідчить, що 2022 рік був більш сприятливим для вирощування амаранту, можливо, через оптимальні температурні режими та розподіл опадів. Натомість 2023 – 2024 роки характеризувався більш несприятливими умовами, що призвело до зниження урожайності в середньому на 3-7 % залежно від препарату.

Особливо важливим є той факт, що препарати на основі тіаметоксаму (Енжіо 24,7 % к.с. та Актара 2,5 % в.г.) показали найбільшу стабільність урожайності між роками, що робить їх найбільш надійними варіантами для використання в умовах мінливого клімату. Це узгоджується з системною дією тіаметоксаму, який забезпечує тривалий захист рослин від комплексу шкідників незалежно від погодних коливань.

За результатами проведених досліджень встановлено, що всі застосовані препарати забезпечили позитивний ефект у боротьбі проти попелиць та

хрестоцвітих блішок на посівах амаранту сорту Харківський 1, порівняно з контрольним варіантом, де урожайність склала 3,45 т/га (табл. 6.12).

Попелиці є одними з найбільш значущих шкідників амаранту в різних регіонах світу. Згідно з дослідженнями кенійських фермерів, що вирощують листовий амарант, 87 % респондентів визначили попелиць як основних шкідників, а 96,8 % оцінили їх як шкідника номер один серед усіх комах-шкідників амаранту [440]. Попелиці завдають значної шкоди рослинам, висмоктуючи соки з листя, що призводить до пожовтіння листків, пригнічення росту та зниження якості і кількості продукції [285, 326, 496].

Хрестоцвіті блішки також є серйозною загрозою для посівів амаранту. Дослідження в Північній Кароліні показали, що блішка *Disonycha glabrata* може завдавати значної шкоди амаранту, викликаючи дефоліацію та пригнічення росту рослин [577]. На встановлених рослинах 20-30 % або більше площі листової поверхні повинно бути знищено, перш ніж це вплине на врожайність [318, 320].

Найвищу ефективність у проведеному дослідженні продемонстрував препарат Енжіо 24,7 % к. с., що містить комбінацію тіаметоксаму (141 г/л) та лямбда-цигалотрину (106 г/л), забезпечивши урожайність 3,90 т/га та приріст 13,04 % порівняно з контролем. Ця комбінація представляє собою дуальну дію двох різних класів інсектицидів, що забезпечує широкий спектр контролю шкідників. Тіаметоксам належить до неонікотиноїдів і діє як системний інсектицид, що поглинається рослиною та транспортується до всіх її частин, включаючи пилок, де він відлякує комах від живлення. Лямбда-цигалотрин є піретроїдним інсектицидом, що забезпечує швидкий контактний ефект проти широкого спектру шкідників.

Препарат Актара 2,5 % в. г. на основі тіаметоксаму (250 г/л) показав також високу ефективність з урожайністю 3,86 т/га та приростом 11,88 %. Тіаметоксам характеризується системною дією, швидко поглинається рослинами та транспортується до всіх частин, забезпечуючи тривалий захист від сисних шкідників. Дослідження показали, що тіаметоксам ефективно контролює

попелиць завдяки своїй здатності блокувати нікотинові ацетилхолінові рецептори в центральній нервовій системі комах.

Інсектицид Бі 58-новий 40 % к. е. забезпечив приріст урожайності на 7,83 % (3,72 т/га). Цей органофосфатний інсектицид має системну та контактну дію, ефективно контролюючи сисних шкідників, включаючи попелиць. Диметоат швидко поглинається рослинами та поширюється по всіх їх частинах, забезпечуючи тривалий захист [620].

Препарат Децис-фЛюкс 25 % к. е. показав помірну ефективність з приростом 4,93 % (3,62 т/га). Як піретроїдний інсектицид, дельтаметрин забезпечує швидкий нокдаун-ефект, впливаючи на нервову систему комах, але його дія є переважно контактною.

Найменший ефект продемонстрував зета-циперметрин Ф'юрі 10 % в. е. з приростом лише 3,48 % (3,57 т/га). Зета-циперметрин є одним з новіших синтетичних піретроїдів, що забезпечує швидкий контактний інсектицидний ефект. Він складається з суміші стереоізомерів, що впливають на нервову систему комах, змінюючи натрієві канали, що призводить до паралічу та смерті. Хоча зета-циперметрин має швидку дію, його ефективність у даному дослідженні була найнижчою серед усіх тестованих препаратів.

Дослідження багаторічних даних з різних регіонів світу підтверджують, що сільськогосподарські практики, включаючи застосування інсектицидів, впливають на популяції попелиць більше, ніж кліматичні зміни [285, 326, 546]. Це підкреслює важливість правильного вибору та застосування засобів захисту рослин для максимізації урожайності.

Модель також демонструє синергетичний ефект комбінації факторів: найкращі результати досягаються не просто при використанні ефективного інсектициду, а при поєднанні високоефективного препарату з його оптимальним застосуванням для контролю попелиць. Це узгоджується з принципами інтегрованого управління шкідниками, де ефективність контролю залежить як від вибору препарату, так і від правильності його застосування [374, 422, 568, 571].

Результати дослідження підтверджують важливість інтегрованого підходу до захисту амаранту від шкідників. Дослідження показують, що без належного контролю попелиць та інших шкідників, продуктивність амаранту може значно знижуватися [16, 17, 68, 163, 241, 296, 438, 512]. Застосування ефективних інсектицидів, особливо комбінованих препаратів, що поєднують різні механізми дії, може забезпечити надійний захист посівів та підвищення урожайності зерна амаранту.

Висновки до розділу 6

1. Всі досліджувані гербіциди Бетанал Макс Про (phenmedipham, 60 + desmedipham, 47 + etofumesate, 75 + lenacil, 27) (післясходово); Штефам (phenmedipham, 320) (післясходово); Гезагард (prometrin, 500) (досходово); Команд (clomazone, 480) (досходово); Карібу (triflurosulfuron-methyl, 500) (післясходово); Лонтрел Гранд (clorpyralid, 750) (післясходово) були ефективні щодо контролю бур'янів, але внаслідок стресового впливу також на рослини амаранту спричинювали зменшення його врожайності на 0,40-1,37 т/га.

2. Найвища врожайність амаранту формувалась на варіанті без використання гербіцидів з біологічними методами боротьби з бур'янами – 3,21 т/га. На варіантах з використанням гербіцидів вищу урожайність (2,81 т/га) забезпечив досходовий гербіцид Гезагард (prometrin, 500) за норми внесення 2 л/га.

3. Встановлено ефективність застосування фунгіцидних препаратів на початку фази бутонізації, що містять у своєму складі дві діючі речовини — з групи триазолів та стробілуринів. За роки досліджень найвищу ефективність продемонстрували фунгіциди Амістар Екстра 28 % к.с. з урожайністю 3,87 т/га та приростом відносно контрольного варіанту 9,94 %, та Аканто Плюс 28 % к.с., з урожайністю 3,83 т/га з приростом 8,81 %.

4. Усі досліджувані препарати мали високу ефективність щодо захисту від попелиць та хрестоцвітих блішок. Найвища технічна ефективність спостерігалась на варіантах з внесенням інсектициду Енжіо 24,7 % к. с.,

відповідно 85,8 % та 87,6 %. Застосування препарату Актара 2,5 % в. г. забезпечило технічну ефективність на рівні 84,5 % та 86,2 %. Інсектицид Бі 58-новий 40 % к. е. знищував у посівах амаранту 83,4 % попелиць та 85,5 % хрестоцвітих блішок. Препарати Децис-фЛюкс 25 % к. е. та Ф'юрі 10 % в. е. мали дещо нижчу ефективність.

5. Для знищення слимаків в агроценозах амаранту ефективним є використання молюскоцидів з діючими речовинами метальдегід та метіокарб (меркаптодіметур).

РОЗДІЛ 7.

ЯКІСНИЙ СКЛАД ЗЕРНА АМАРАНТУ ЗАЛЕЖНО ВІД ДОСЛІДЖУВАНИХ ФАКТОРІВ

Потенціал видів амаранту є величезним і багатообіцяючим, що робить його дослідження в оздоровчих цілях і промислове застосування вкрай необхідним. Регулярне вживання амаранту може знизити рівень холестерину, принести користь людям, які страждають на гіпертонію та серцево-судинні захворювання [47, 238, 282, 419, 508].

Амарант - це безглютенний псевдозлак. Протеїни амаранту мають добре збалансований амінокислотний склад, високу біодоступність і хороші функціональні властивості. Харчові волокна, вітаміни та попередники вітамінів (аскорбінова кислота, рибофлавін, токоли, каротиноїди), а також мінерали (Ca, Fe, Mg, K, Cu, Zn і Mn) є іншими важливими поживними речовинами. Встановлено цінність фенольних сполук у насінні амаранту та їх функціональні і біоактивні властивості. Фенольні сполуки добре відомі як антиоксиданти. Іншими фітохімічними речовинами з антиоксидантною активністю, які містяться в амаранті, є беталаїни, особливо бетаціаніни. Вміст цих пігментів варіюється в залежності від виду та генотипу амаранту [281, 323, 349, 412, 418, 466, 491, 508, 510, 573].

За даними Nasirpour-Tabrizi P та ін. [441], зерно амаранту складається з 61,3-76,5 % вуглеводів (переважно крохмалю), 13,1-21,5 % сирого протеїну, 5,6-10,9 % сирого жиру, 2,7-5 % сирової клітковини та 2,5-4,4 % золи. Білки та ліпіди є двома важливими складовими зерна амаранту. Зерно амаранту має більший вміст білка в порівнянні зі злаками. Лізин, який є лімітуючою амінокислотою в злаках, міститься у більших кількостях у зерні амаранту. Зерно амаранту містить 5-8 % олії, яка в основному складається з триацилгліцеринів (78-82 %), що містять жирні кислоти, які мають важливий вплив на стабільність олії та поживні властивості. Лінолева кислота (C18:2), олеїнова кислота (C18:1) і пальмітинова кислота (C16:0) є переважаючими жирними кислотами.

Компонентами цієї олії є сквален (до 10 %), фітостероли (2-3 %), токофероли, каротиноїди та фосфоліпіди (до 10 %). Унікальний склад олії насіння амаранту робить його корисним інгредієнтом у харчовій, фармацевтичній та косметичній промисловості [441, 509].

7.1 Вплив сортових особливостей амаранту на формування якісного складу зерна

Вміст білку в насінні амаранту найбільше залежить від ґрунтово-кліматичних умов, сорту, технології вирощування. Всі сорти амаранту характеризуються високим вмістом білка, від 13 до 18 % [113, 266, 441, 498, 573]. За даними дослідників [113], найбільший вміст білку в насінні був у сорту Кармин (28,4 % до абсолютно сухої речовини), а найменший – у сортів Жайвир (18,8 %) и Рушничок (21,4 %). Вміст білку залежно від виду амаранту може коливатися в таких межах: *A. cruentus* - 13,8-21,5 %, *A. hypochondriacus* - 15,0-16,6 %, *A. caudatus* - 13,1 – 21,0 % [266, 301, 435, 441, 573].

За результатами наших досліджень найвищий вміст білку був у сортів Харківський 1 та Ацтек – відповідно 19,2 % та 19,0 % (табл. 7.1).

Таблиця 7.1

Вміст білку в зерні амаранту залежно від сорту, %.

Сорти	Роки			Середнє за три роки, %
	2019	2020	2021	
Ультра (контроль)	16,1	16,0	16,5	16,2
Студентський	17,3	17,1	17,8	17,4
Харківський 1	19,3	18,9	19,4	19,2
Лєра	18,8	18,4	18,8	18,6
Ацтек	18,8	18,8	19,4	19,0
Сем	17,9	17,4	17,8	17,7
НІР ₀₅	0,94	0,62	1,15	

Високий вміст білку мав також сорт Лера – 18,6 %. В дослідженнях інших вчених отримано подібні результати, вміст білку найвищим був у сорту Харківський 1 - 24,7 %, найменшим у сорту Геліос - 16,1 % [131]. Найменшим вмістом білку відрізнялися сорти Ультра (16,2 % – на 3,0 % менше порівняно з сортом Харківський 1). Середній відносно низький вміст білку – 17,4 % та 17,7 % дослідили у сортів Студентський та Сем.

За результатами кореляційно-регресійного аналізу встановлено помірно сильний зв'язок між вмістом білку і урожайністю зерна сортів амаранту, коефіцієнт кореляції становив $r = 0,67$ (рис. 7.1).

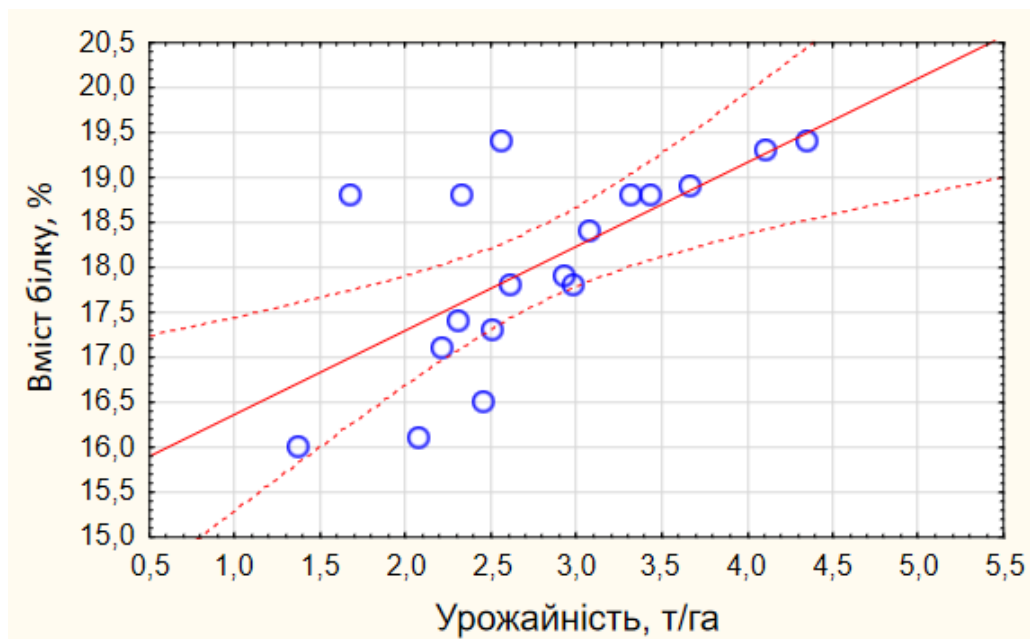


Рис. 7.1. Статистична модель залежності вмісту білку від рівня урожайності зерна амаранту.

Дану залежність достовірно описує рівняння регресії:

$$Y = 15,443 + 0,93030X;$$

де Y - вміст білку, %;

X - урожайність, т/га.

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,95$.

Тривимірна регресійна модель (рис. 7.2), яка візуалізує зв'язок між сортом амаранту (сортом), урожайністю (урожайністю т/га) та вмістом білка (вміст білку %) у зерні амаранту, демонструє, що сортові особливості дійсно впливають на білковість зерна амаранту. За однакової врожайності різних сортів відображається різний вміст білка, що підтверджує генетичну обумовленість цієї ознаки.

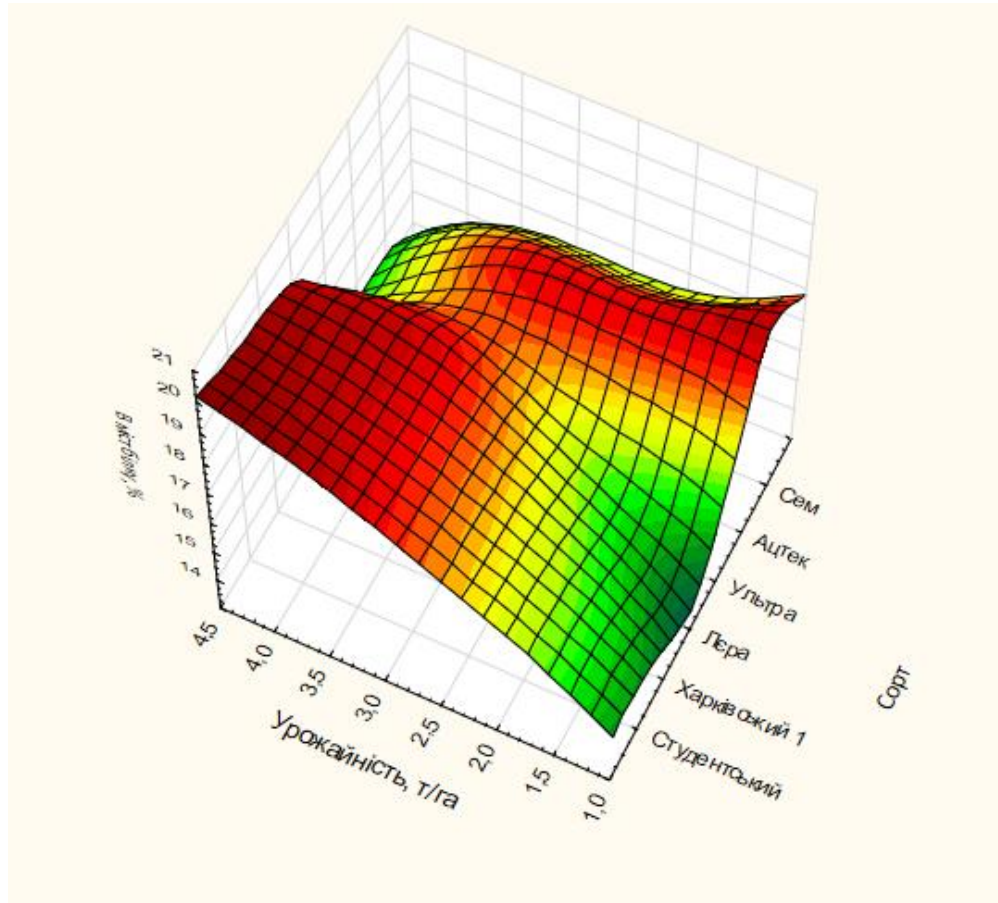


Рис. 7.2. Просторова 3Д модель регресії впливу рівня урожайності сортів амаранту на вміст білку (%) в зерні.

Дану залежність достовірно описує рівняння регресії:

$$Y = 3,5359 + 0,1127 X_1 + 1,0169 X_2;$$

де Y - вміст білку, %;

X_1 – сорт;

X_2 – урожайність, т/га.

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,47$

Хоча урожайність має сильніший вплив на вміст білку (коефіцієнт 1,0169), сортові особливості також змінюють і грають важливу роль (коефіцієнт 0,1127). Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,47$ вказує на те, що 47 % варіації вмісту білка можна пояснити комбінованим впливом сорту та урожайності. Множинний коефіцієнт кореляції становить $R = 0,69$, це свідчить про помірно сильний зв'язок між досліджуваними факторами (сортом та урожайністю) та вмістом білка в зерні амаранту.

В перерахунку на біологічний вихід білку встановлено, найбільший збір білку з 1 га був у сорту Харківський 1 – 0,77 т/га (рис. 7.3).

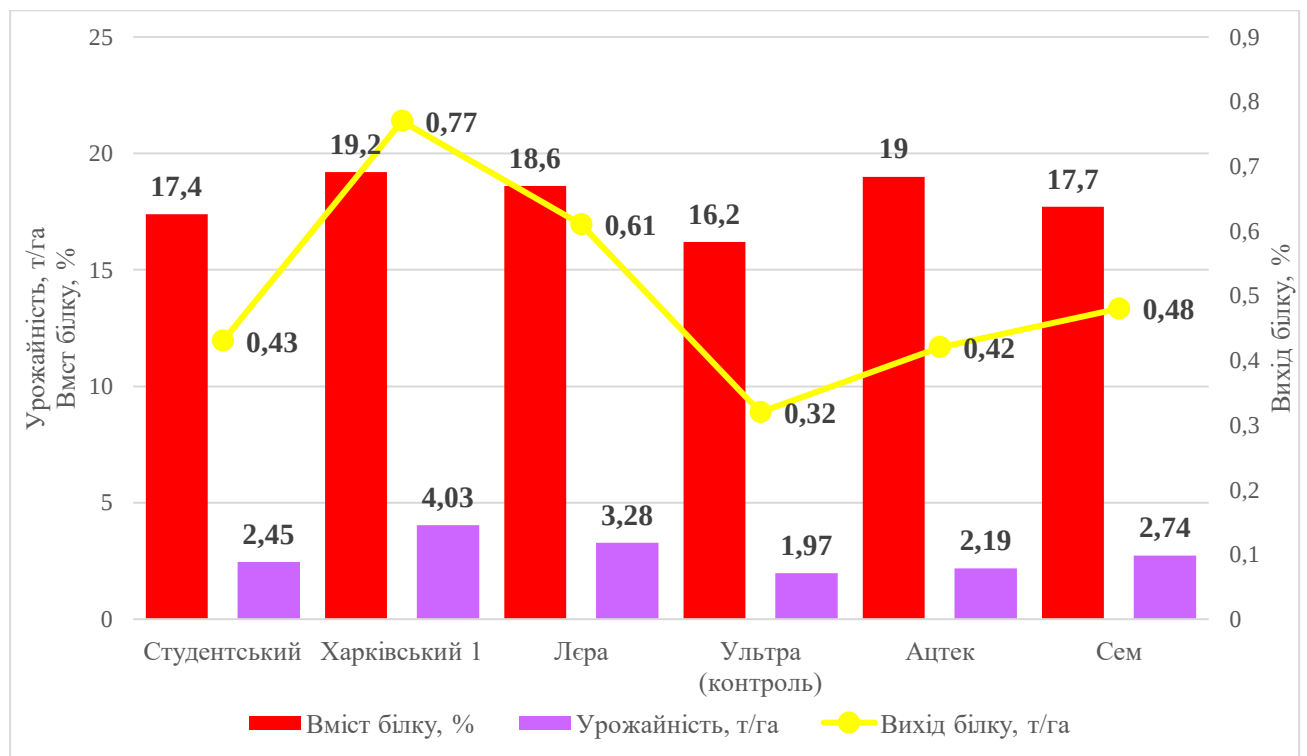


Рис. 7.3. Вихід білку сортів амаранту, т/га.

Амарантова олія відноситься до групи лінолевої кислоти, яка досягає 50 % від загальної кількості всіх жирних кислот [57; 400]. Середній вміст жиру в зерні амаранту — 4-5 %. Зерно з 6 % жиру вважається вже більш якісним, а сорти, в насінні яких зафіксовано понад 7 % жиру, відносяться до високоолійних, 9-10 % жиру - рідкісний показник, і найчастіше такий амарант використовується

виключно для виробництва олії і отримання сквалену [42, 204, 265, 364, 441, 573].

За іншими даними, вміст сирої олії коливався від 7,5 % до 6,0 %, причому лінолева, пальмітинова та олеїнова кислоти були основними жирними кислотами олії в обох генотипах. Це дослідження показало унікальні нутрицевтичні властивості насіння двох генотипів *A. hypochondriacus* і *A. cruentus*, вирощених в умовах Центральної Італії, як джерело поліненасичених жирних кислот і сквалену. Тому амарант є цінною альтернативною культурою для виробництва спеціальної олії в Середземноморському регіоні [344, 345, 357].

Важливим показником якості насіння амаранту є вміст олії. Є різні експериментальні дані щодо цього показника. Вміст олії в сортах амаранту коливався від 4,57 % до 5,55 % [573, 574]. У деяких дослідженнях виявлено більш конкретні параметри, вміст олії був на рівні 8 % [364, 365]. За іншими даними, він залежав від виду амаранту і становив: *A. cruentus* - 5,6-8,1 %, *A. hypochondriacus* - 6,1-7,3 %, *A. caudatus* - 5,8-10,9 % [288, 441, 573]. Олійність насіння амаранту досягає максимуму за найбільшої норми висіву, а вміст протеїну – за мінімальної. Серед досліджуваних сортів за вмістом жиру перевагу мали сорти Ацтек та Ультра, а за вмістом сирого протеїну – Ацтек [113, 114, 204].

У наших дослідженнях теж найвищий вміст олії був у сорту Ацтек – 8,2 % (табл. 7.2).

Таблиця 7.2

Вміст олії в насінні амаранту залежно від сорту, %.

Сорти	Роки			Середнє за три роки
	2019	2020	2021	
Ультра (контроль)	4,9	4,8	5,3	5,0
Студентський	7,7	7,4	7,7	7,6
Харківський 1	7,8	7,7	7,9	7,8
Лера	7,1	7,1	7,2	7,0
Ацтек	8,2	8,0	8,4	8,2
Сем	6,4	6,4	6,7	6,5
НІР ₀₅	0,18	0,27	0,27	

Високий вміст олії виявлено також в насінні сортів Студентський та Харківський 1, де цей показник становив, відповідно 7,6 % та 7,8 %. Найнижчий вміст олії був у сорту Ультра, лише 5,0 %, що менше на 3,2 % порівняно з сортом Ацтек.

За результатами кореляційно-регресійного аналізу встановлено сильний зв'язок між вмістом білку і олійністю зерна сортів амаранту, коефіцієнт кореляції становив $r = 0,84$ (рис. 7.4).

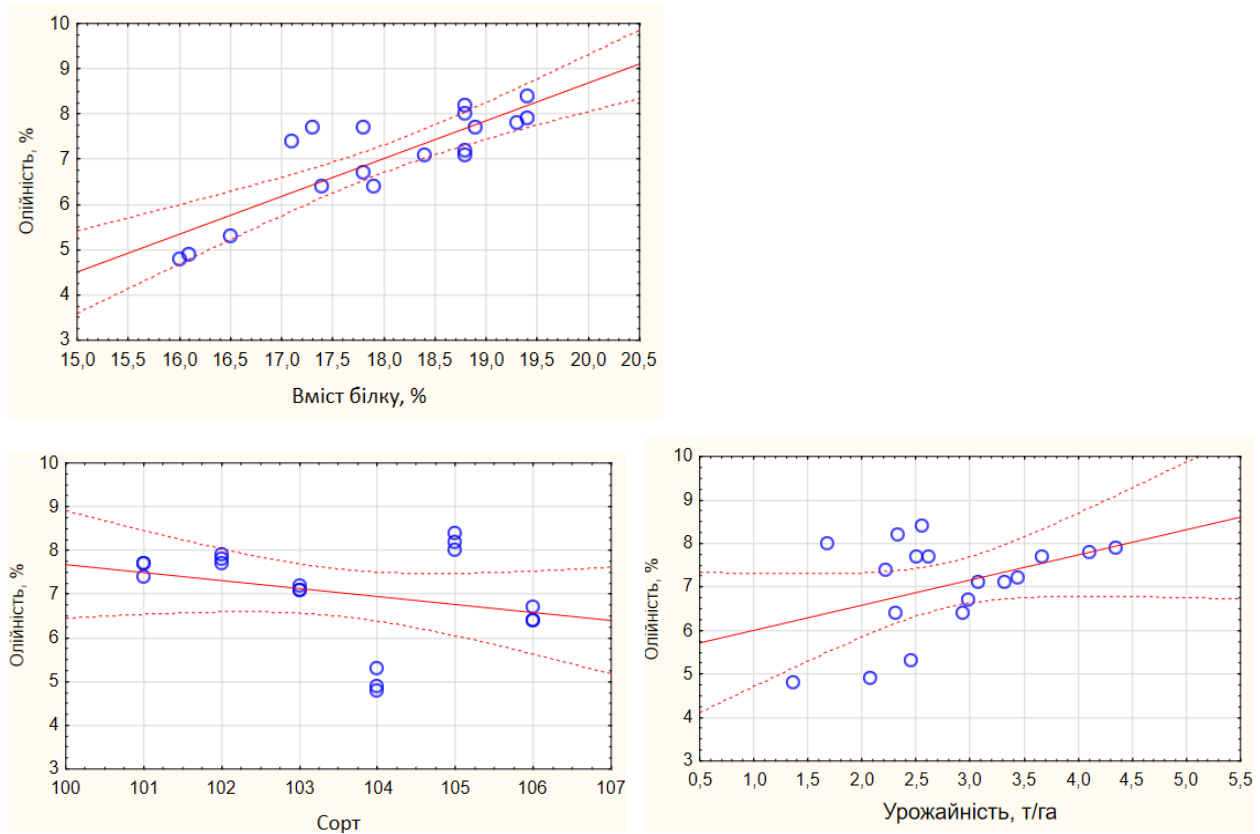


Рис. 7.4. Статистичні моделі впливу досліджуваних факторів на олійність зерна амаранту.

Дані закономірності підтверджують рівняння регресії:

$$Y = -8,037 + 0,83625 X_1$$

$$Y = 26,063 - 0,1838 X_2;$$

$$Y = 5,4389 + 0,57578 X_3;$$

де Y - олійність, %;

X_1 - вміст білку, %;

X_2 - сорт;

X_3 - урожайність, т/га.

Вплив сортових особливостей на вміст олії був слабким і мав зворотну дію, про що свідчить коефіцієнт кореляції $r = -0,29$, тоді як вплив рівня урожайності був більшим помітним- коефіцієнт кореляції становив $r = 0,41$.

За рахунок високої врожайності вихід олії з 1 га був найвищий у сорту Харківський 1, незважаючи на те, що за вмістом олії в насінні цей сорт поступався сорту Ацтек. Найнижчим вихід олії з 1 га був у сорту Ультра – 0,10 т/га (рис. 7.5).

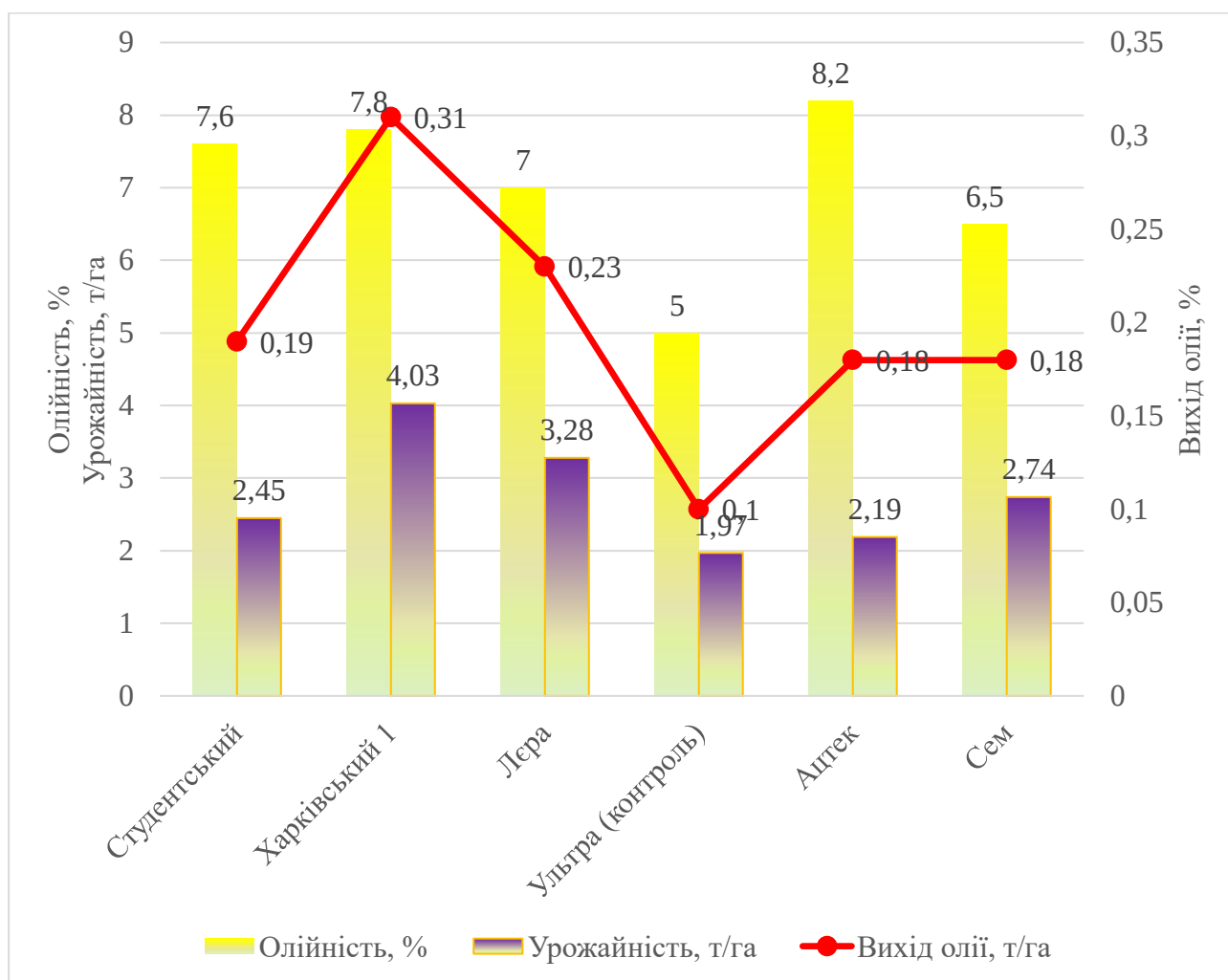


Рис. 7.5. Вихід олії сортів амаранту, т/га.

Неомілювана ліпідна фракція зерна амаранту складається переважно зі сквалену. Сквален є біосинтетичним попередником усіх стероїдів у рослин і тварин. Це високоненасичений тритерпен з відкритим ланцюгом. Найбагатшим

джерелом сквалену є печінка малої акули (*Squalus acanthus*), від якої і походить її назва, а також деяких інших морських видів. Він також присутній в деяких рослинних оліях, таких як оливкова (0,1-0,5 %), але особливо високі концентрації виявлені в амарантовій олії (3-8 %). Амарант є найбагатшим джерелом сквалену в рослинному світі [265, 280, 364, 391, 441, 509]. Вміст сквалену становить 6,37 - 6,73 % [204, 265, 280, 364].

У наших дослідженнях вміст сквалену коливався в межах 6,0-7,5 % (табл. 7.3). Найвищим серед сортів вміст сквалену був у Харківського 1, а найменшим у сортів Студентський та Ультра.

Таблиця 7.3

Вміст сквалену в лії амаранту залежно від сорту, %.

Сорти	Роки			Середнє за три роки
	2019	2020	2021	
Ультра (контроль)	5,9	5,8	6,3	6,0
Студентський	6,3	6,0	6,3	6,2
Харківський 1	7,4	7,3	7,8	7,5
Лера	6,5	6,3	6,5	6,4
Ацтек	6,9	6,5	7,0	6,8
Сем	6,4	6,4	6,4	6,4

За іншими даними, вміст сквалену у деяких комерційних оліях відносно низький, наприклад, 0,2 % у кокосовій, 0,5 % в пальмовій олії, 0,7 % в лляному насінні, 1 % в оливковій і 1,5 % в авокадо. Вміст сквалену в амаранті значно вищий. Він коливався від 3,85 % в сорту Ацтек до 6,97 % у сорту Pribina [204, 365, 547]. Високий вміст токоферолів і сквалену, які діють як антиоксиданти, забезпечує високу стійкість до окислення амарантової олії. За даними Nasirpour-Tabrizi P. і ін. [441], вміст сквалену змінюється залежно від виду амаранту і становить в *A. cruentus* – 3-9 %, *A. hypochondriacus* - 4-9 %, *A. caudatus* – 1-8 %, *A. hybridus* – 3-7 %, *A. tricolor* – 5-6 % [265, 280, 364, 441, 547].

Площина регресії (рис. 7.6) демонструє, що максимальний вміст сквалену досягається при високих значеннях урожайності та високої олійності.

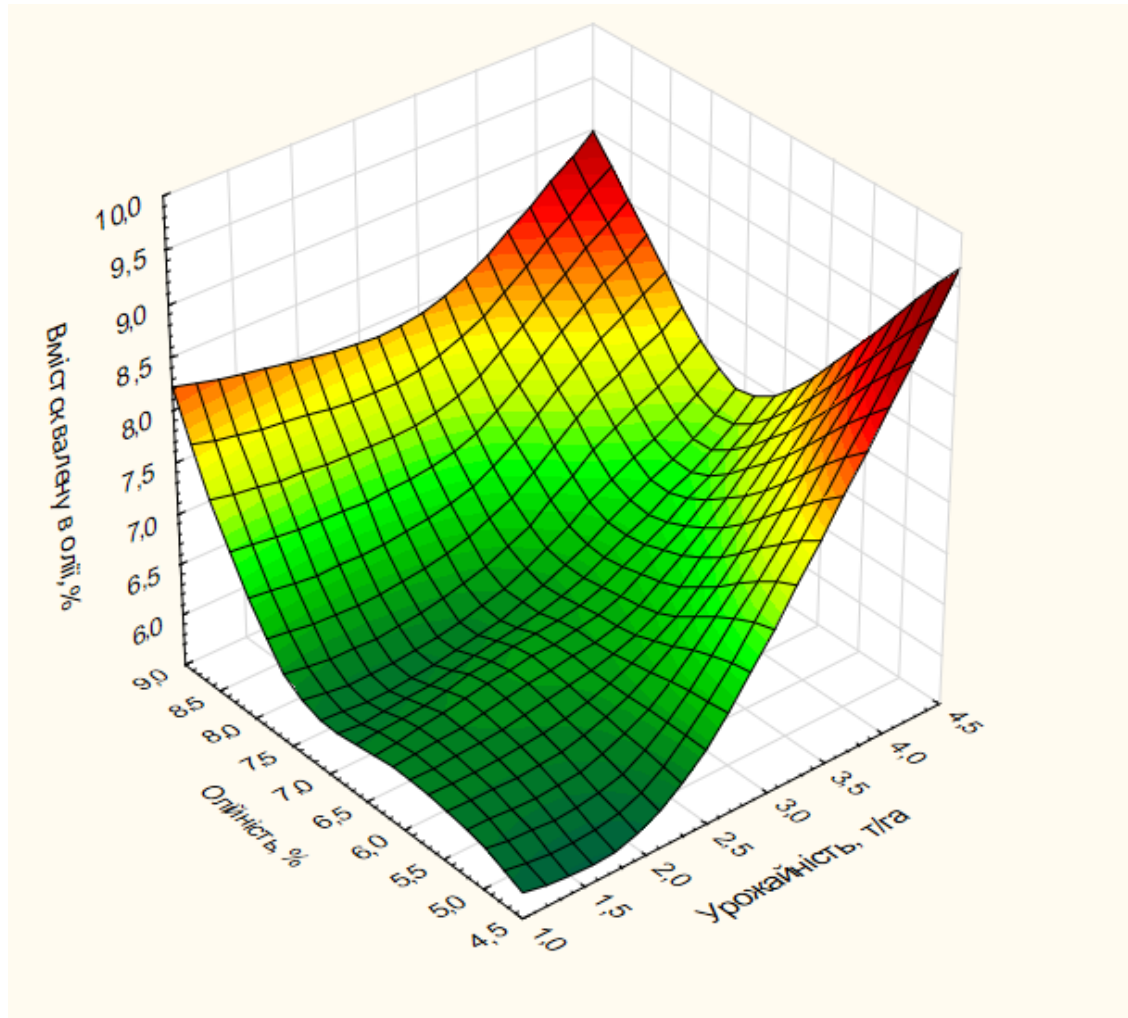


Рис. 7.6. Просторова 3Д модель регресії впливу рівня урожайності та олійності зерна амаранту на вміст сквалену.

Дану залежність достовірно описує рівняння регресії:

$$Y = 4,0838 + 0,405 X_1 + 0,1913 X_2;$$

де Y - вміст сквалену в олії, %;

X_1 - урожайність, т/га;

X_2 – олійність, %.

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,72$.

Множинний коефіцієнт кореляції $R = 0,85$ підтверджує сильний зв'язок між досліджуваними факторами та вмістом сквалену в олії амаранту.

За результатами кореляційно – регресійного аналізу встановлену вплив синергії олійності і вмісту білку в зерні амаранту на вміст сквалену в олії (рис. 7.7).

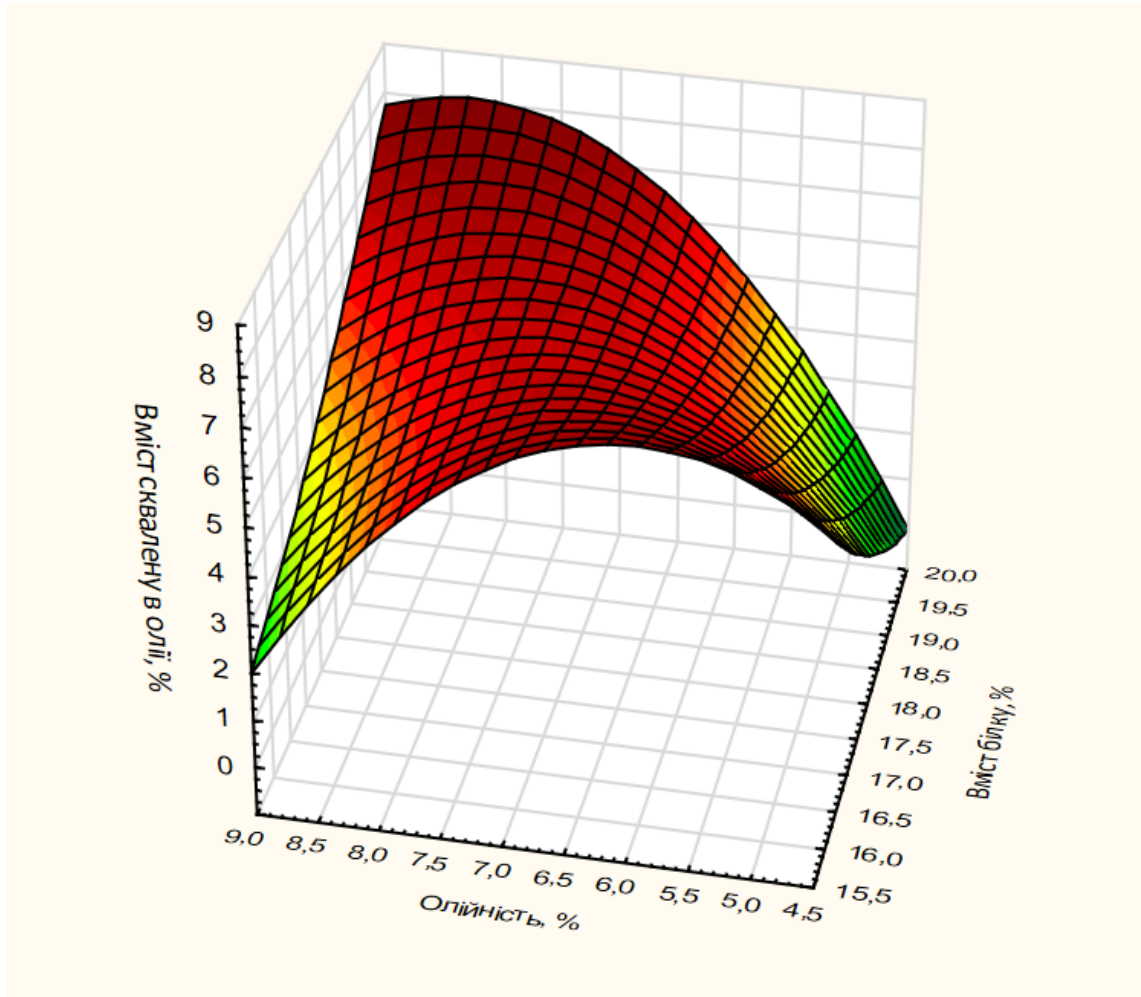


Рис. 7.7. Просторова 3Д модель регресії залежності вмісту сквалену від олійності та вмісту білку в зерні амаранту.

Дану залежність достовірно описує рівняння регресії:

$$Y = -1,1798 + 0,4593 X_1 - 0,0774 X_2;$$

де Y - вміст сквалену в олії, %;

X_1 - вміст білку, %;

X_2 – олійність, %.

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,68$

Регресійна поверхня має опуклу форму з максимальними значеннями сквалену за високого вмісту білка та високої олійності. При зниженні цих факторів спостерігається поступове зниження вмісту сквалену. Коефіцієнт вмісту білка (+0,4593) є позитивним і значним, що показує на сильний прямий зв'язок - при збільшенні вмісту білка збільшується і вміст сквалену. Це узгоджується з дослідженнями Caselato-Sousa і Amaya-Farfán (2012), які відзначили кореляцію між білковим вмістом амаранту та біохімічними показниками його олії [304]. Коефіцієнт при олійності є негативним (-0,0774), що вказує на зворотну залежність, оскільки, високоолійні форми амаранту можуть мати нижчу концентрацію сквалену через «ефект розбавлення» – підвищення загального об'єму олії без пропорційного підвищення вмісту сквалену. За даними Hlinková та ін., сквален синтезується в рослинах через мевалонатний шлях, який тісно пов'язаний з білковим метаболізмом. Ферменти, залучені до синтезу сквалену, є білковими молекулами, тому вищий вміст білка може корелювати з більш активними процесами біосинтезу сквалену [365].

Вміст вуглеводів залежав від виду амаранту і становив: *A. cruentus* 63,1-70,0 %, *A. hypochondriacus* 67,9-70,0 %, *A. caudatus* 63,7-76,5 % [441, 573]. В інших дослідженнях вміст вуглеводів залежно від сорту коливався в межах 63,1-68,2 % [113, 114, 540].

У наших дослідженнях вміст вуглеводів був у межах 64,8-71,4 %. Найвищий середній вміст вуглеводів 71,4 % зафіксовано у сорту Ультра, який виступає як стандарт у дослідженні. Найнижчий вміст вуглеводів має сорт Ацтек - 64,8 %, різниця між показником сорту Ультра та сорту Ацтек становить 6,6 %. Підвищення вмісту вуглеводів у 2020 році може бути пояснено погодними умовами. Згідно з дослідженнями Peiretti Pier Giorgio, температурний режим та рівень опадів під час формування зерна суттєво впливають на накопичення вуглеводів [472]. Підвищені температури та оптимальна вологість сприяють інтенсивному накопиченню крохмалю в зерні амаранту (табл. 7.4).

Вміст вуглеводів в зерні амаранту залежно від сорту, %.

Сорти	Роки			Середнє за три роки
	2019	2020	2021	
Ультра (контроль)	71,2	72,0	71,0	71,4
Студентський	67,4	68,8	67,2	67,8
Харківський 1	65,3	67,0	65,2	65,5
Лєра	66,1	67,8	66,2	66,7
Ацтек	64,4	65,9	64,1	64,8
Сем	69,5	71,1	69,5	69,7

Сортові відмінності у вмісті вуглеводів (64,8-71,4 %) узгоджуються з дослідженнями Venskutonis і ін. [573, 574], які показали, що генетичні особливості сортів амаранту значно впливають на їх біохімічний склад, при цьому вміст вуглеводів у різних генотипах може складатися в межах 60-75 %.

Стабільно високий вміст вуглеводів у зерні сорту Ультра (контроль) підтверджує висновки Caselato-Sousa і ін. про те, що певні генотипи амаранту характеризуються підвищеною здатністю до синтезу та накопичення крохмалю та інших вуглеводів незалежно від умов вирощування [304]. Різниця між найвищими (сорт Ультра 71,4 %) та найнижчими (сорт Ацтек 64,8 %) показниками корелюється з даними D'Amico і ін., які відзначають, що генетично обумовлена різниця у вмісті вуглеводів між сортами амаранту може досягати 10 %, що є селекційною ознакою [323].

За даними Rastogi і Shukla, сорти з підвищеним вмістом вуглеводів часто характеризуються вищим вмістом амілопектину в крохмалі та спеціальними технологічними властивостями зерна, що важливо для харчової промисловості [488].

За результатами кореляційно-регресійного аналізу встановлено помітний зворотний зв'язок між вмістом вуглеводів і урожайністю зерна сортів амаранту, коефіцієнт кореляції становив $r = -0,49$. Також встановлено високий зворотний

зв'язок між вмістом сквалену і вуглеводів - коефіцієнт кореляції становив $r = 0,71$.

Просторова 3D модель регресії ілюструє залежність вмісту вуглеводів у зерні амаранту від двох факторів: сортових особливостей та рівень урожайності (рис. 7.8).

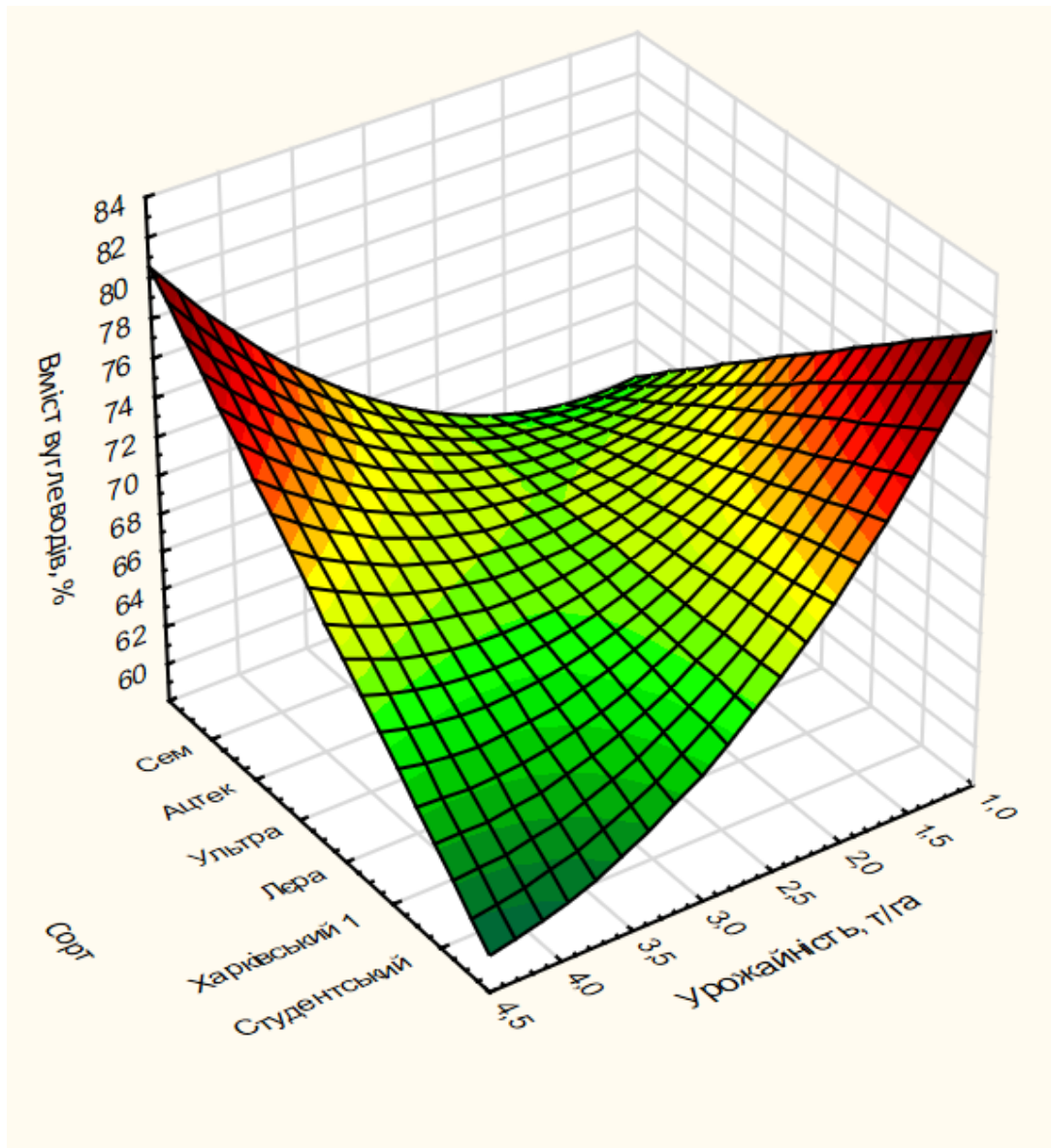


Рис. 7.8. Просторова 3Д модель регресії залежності вмісту вуглеводів від сорту та урожайності зерна амаранту.

Дану залежність описує рівняння регресії:

$$Y = 56,9083 + 0,1433 X_1 - 1,4303 X_2;$$

де Y - вміст вуглеводів, %;

X_1 – сорт;

X_2 – урожайність, т/га.

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,25$

Вплив сорту є позитивним, але слабким. Це узгоджується з дослідженнями Caselato-Sousa і Amaya-Farfán, які показали, що генетичні особливості різних сортів амаранту впливають на їх біохімічний склад, зокрема на склад основних груп поживних речовин [304]. Вплив урожайності є негативним і значно сильнішим за вплив сорту. Це може бути пояснено біологічним "ефектом розбавлення" - при збільшенні урожайності інтенсивніше накопичуються білки та інші компоненти, що призводить до значного зменшення частки вуглеводів. Аналогічні результати отримано у дослідженнях Peirett P. G. і ін., які підтверджують обернену залежність між урожайністю та відносним вмістом вуглеводів у зерні амаранту [472]. Графік демонструє максимальний вміст вуглеводів у різних сортах при низькій урожайності.

Відносно низькі значення коефіцієнта детермінації демонструють те, що на вміст вуглеводів впливають також інші фактори, не враховані в моделі. За даними досліджень Venskutonis і Kraujalis, на вміст вуглеводів у зерні амаранту значно впливають умови вирощування, зокрема кліматичні фактори та агротехнічні заходи [573, 574]. Множинний коефіцієнт кореляції ($R = 0,50$) вказує на середній рівень зв'язку між аналізованими факторами та вмістом вуглеводів. D'Amico і Schoenlechner у своїх дослідженнях відзначили, що при оцінці поживної цінності амаранту має бути не лише загальний вміст вуглеводів, але й варто оцінити різні їх фракції - крохмалю, харчових волокон, моно- та полісахаридів, які також можуть залежати від сортових особливостей та умов вирощування [323].

За результатами кореляційно-регресійного аналізу встановлено що, вплив вмісту білку в зерні та олійність амаранту на вміст вуглеводів був вельми сильним і мав зворотну дію, про що свідчать коефіцієнти кореляції $r = - 0,90$ і $r = - 0,91$ відповідно. Представлена 3D модель регресії (рис. 7.9) демонструє

залежність вмісту вуглеводів у зерні амаранту від двох біохімічних показників: вмісту білка та олійності.

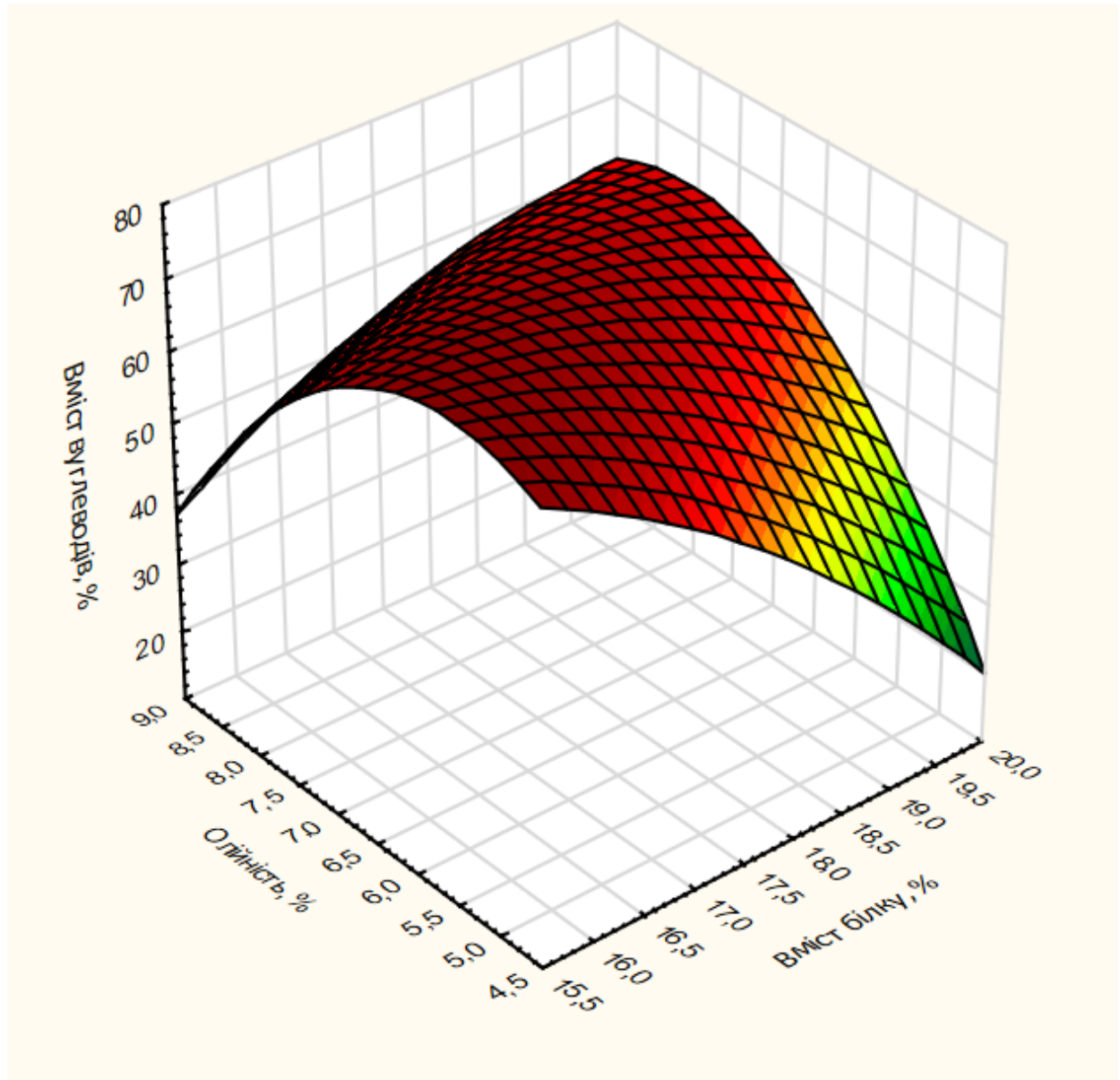


Рис. 7.9. Просторова 3Д модель регресії залежності вмісту вуглеводів від вмісту білку та олійності зерна амаранту.

Дану залежність достовірно описує рівняння регресії:

$$Y = 95,3983 - 1,0891 X_1 - 1,1371 X_2;$$

де Y - вміст вуглеводів, %

X_1 - вміст білку, %

X_2 - олійність, %.

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,89$

Модель має високий рівень достовірності, що підтверджується статистичними показниками: коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,89$ і множинний коефіцієнт кореляції $= 0,94$.

Коефіцієнт $-1,0891$ заявляє про сильний обернений зв'язок між вмістом білка та вуглеводів. Це підтверджується дослідженнями Conforti і ін., які показали, що збільшення вмісту білка в зерні амаранту здебільшого відбувається за рахунок зменшення вмісту вуглеводів, особливо крохмалю [319]. В інших дослідженнях вміст вуглеводів залежно від сорту коливався в межах 63,1-68,2 % [131]. Коефіцієнт $-1,1371$ також вказує на сильний обернений зв'язок між олійністю та вмістом вуглеводів. Це узгоджується з дослідженнями Venskutonis і Kraujalis, які встановили, що підвищення синтезу ліпідів у насінні амаранту часто супроводжується зниженням накопичення вуглеводів через перерозподіл енергетичних та пластичних ресурсів у рослинах [573, 574].

Коефіцієнт детермінації $0,89$ говорить про те, що дана модель пояснює 89 % варіації вмісту вуглеводів, що є надзвичайно високим показником для біологічних систем. Це узгоджується з висновками Rastogi і Shukla, які зазначають, що біохімічний склад вмісту амаранту підкоряється чітким математичним закономірностям [488].

7.2. Вплив рівнів удобрення амаранту на формування якісного складу зерна

Автори повідомляють різні дані вмісту білку визначеного в зерні амаранту. Вміст білку становив 13,6 %, жиру 7,0 %, вуглеводів 58,6 %, калорійність 351 ккал [323, 412, 573]. За іншими даними діапазон цих показників широкий: вміст білка становив 15,2-18,6 %, жиру – 5,4-8,6 % [266, 435, 573, 574].

Дослідники з'ясували, що значний вплив на вміст протеїну мають добрива, використані під культуру. У дослідженнях проведених у Харківській області встановлено, що найменший вміст протеїну був у виду *A. hypochondriacus* на неудобреному ґрунті – 16,0 %. Найвищий вміст протеїну (18,8 %) був за

внесення норми добрив $N_{30}P_{60}K_{60}$. На варіанті з внесенням $N_{60}P_{60}K_{60}$ вміст протеїну зменшився до 18,3 %, а за підвищення норми добрив до $N_{90}P_{60}K_{60}$ та $N_{120}P_{60}K_{60}$ – відповідно до 17,8 % та 16,6 %. Це зниження автори досліджень пояснюють зростанням різноякісності насіння, викликаного його формуванням на бокових пагонах та його неповноцінністю [29, 32, 346, 478].

У наших дослідженнях вміст білку коливався в межах 16,2-18,9 %. Він був найнижчим на контролі без добрив – 16,2 % (табл. 7.5).

Таблиця 7.5

Вміст білку у зерні амаранту сорту Харківський 1 залежно від норм добрив, %

Норма добрив	Роки			Середнє	Приріст до контролю, %	Приріст до попереднього варіанту, %
	2019	2020	2021			
Контроль	16,0	15,9	16,7	16,2	-	-
$N_{40}P_{20}K_{40}$	16,7	16,4	17,3	16,8	0,6	0,6
$N_{80}P_{40}K_{80}$	17,3	17,0	17,9	17,4	1,2	0,6
$N_{120}P_{40}K_{80}$	17,8	17,8	18,4	18,0	1,8	0,6
$N_{160}P_{60}K_{120}$	18,2	18,4	18,9	18,5	2,3	0,5
$N_{200}P_{80}K_{120}$	18,7	18,5	19,5	18,9	2,7	0,4
$N_{200}P_{80}K_{160}$	18,6	18,6	19,5	18,9	2,7	0,0

На варіанті з внесенням $N_{40}P_{20}K_{40}$ вміст білка досяг рівня 16,8 %, а за внесення норми $N_{80}P_{40}K_{80}$ – підвищився до 17,4 %. Він перевищував контрольний варіант на 1,2 %. За подальшого збільшення норми добрив вміст білку підвищився і на фоні $N_{200}P_{80}K_{120}$ становив 18,9 %. Приріст частки білка становив 2,7 % порівняно до варіанту без добрив. Це пояснюється тим, що наші дослідження проведені на бідніших ґрунтах з меншим ресурсом азоту, але з кращим забезпеченням рослин вологою. Такі ґрунтові і погодні умови у поєднанні з більшими нормами добрив сприяли процесу утворення та накопичення білку в зерні. Погодні умови 2021 року (середня температура за

вегетаційний період – 14,8 °С; перевищення кліматичної норми опадів – 73 мм) були найбільше сприятливими для підвищенню вмісту білку, порівняно з попередніми роками.

За результатами кореляційно – регресійного аналізу розроблено 3D-модель залежності вмісту білка в зерні амаранту від температурного режиму впродовж періоду вегетації та рівня урожайності (рис. 7.10).

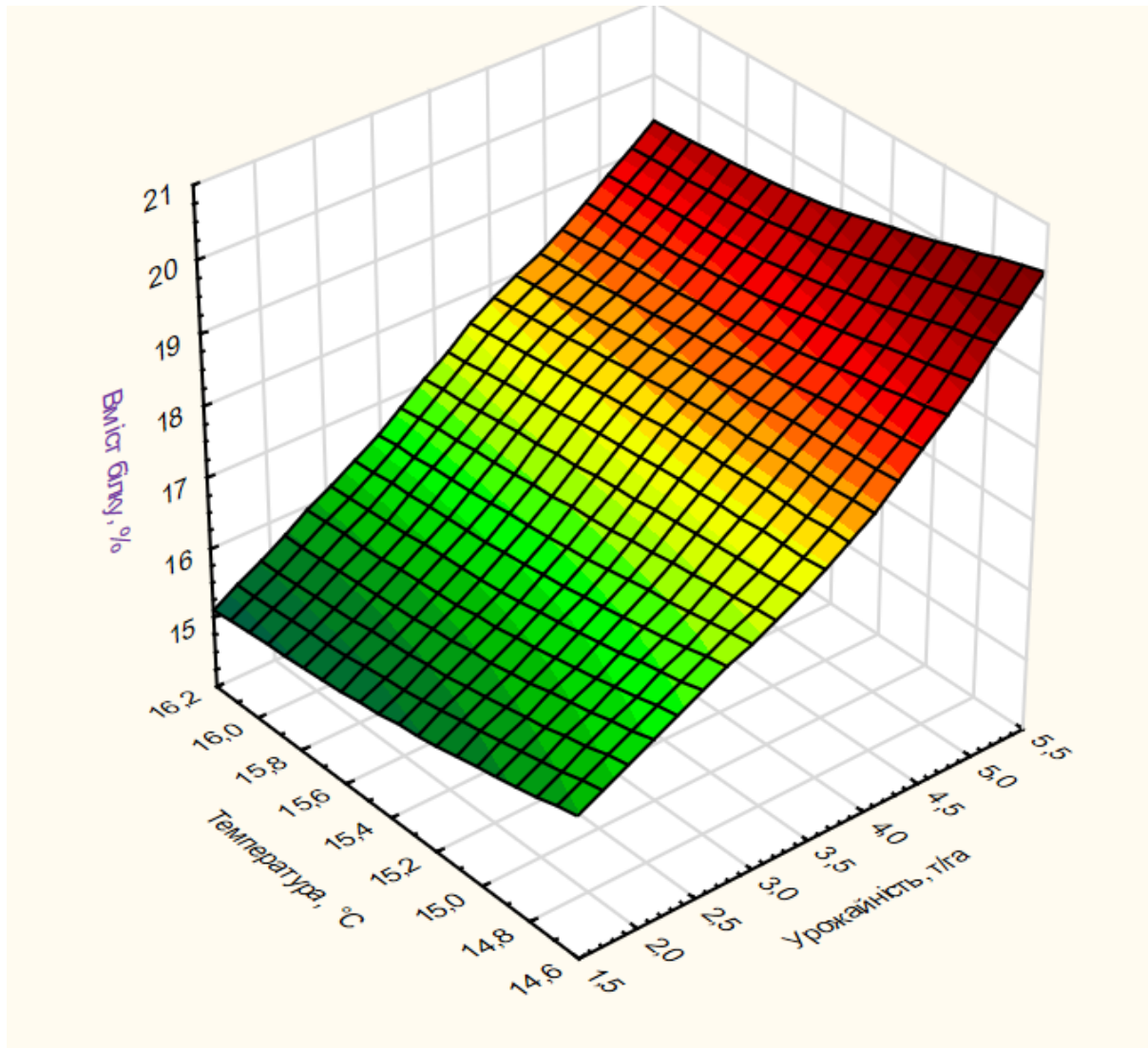


Рис. 7.10. Просторова 3Д модель регресії залежності вмісту білку від погодних умов в період вегетації амаранту і рівня урожайності.

Дану залежність достовірно описує рівняння регресії:

$$Y = 19,5042 + 1,0816X_1 - 0,3806X_2;$$

де Y - вміст білку, %;

X_1 - урожайність, т/га;

X_2 – середньорічний показник температурного режиму, °С.

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,99$

Множинний коефіцієнт – $R = 0,99$

На основі просторової моделі регресії видно, що вміст білка в зерні амаранту коливається в межах 15-21 %. Це залежить від двох ключових факторів: температури повітря (14,6-16,2 °С) та рівня врожайності (1,5-5,5 т/га). Рівняння регресії з коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0,99$ вказує на надзвичайно високу достовірність моделі та чітку залежність вмісту білка від цих двох факторів. Площина регресії демонструє, що підвищення урожайності позитивно впливає на вміст білка, тоді як підвищення температури має негативний вплив. Нижчі температури під час формування зерна амаранту сприяють накопиченню більшої кількості білка через уповільнення синтезу крохмалю та перенаправлення метаболізму на синтез азотовмісних сполук.

Дослідження Каленської та співавторів підтверджують, що оптимальна температура для накопичення білка в амаранті становить 14-16 °С, що відповідає параметру температури на представленій моделі. Вищі температури активують ферменти, які більше сприяють накопиченню вуглеводів, ніж білкових сполук [82].

Встановлено достовірну залежність вмісту білку в зерні амаранту від норми добрив та кількості опадів в період вегетації амаранту. 3Д модель (рис. 7.11) демонструє залежність вмісту білка (15-21 %) від двох факторів: норми внесення добрив (комбінації від контрольного варіанту без добрив до $N_{120}P_{80}K_{160}$) та кількості опадів за період вегетації (450-550 мм). Високу достовірність моделі підтверджує рівняння регресії з коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0,95$. З моделі та рівня регресії видно, що підвищення норми внесення мінеральних добрив має сильний позитивний вплив на вміст білку, а збільшення кількості опадів має незначний негативний вплив.

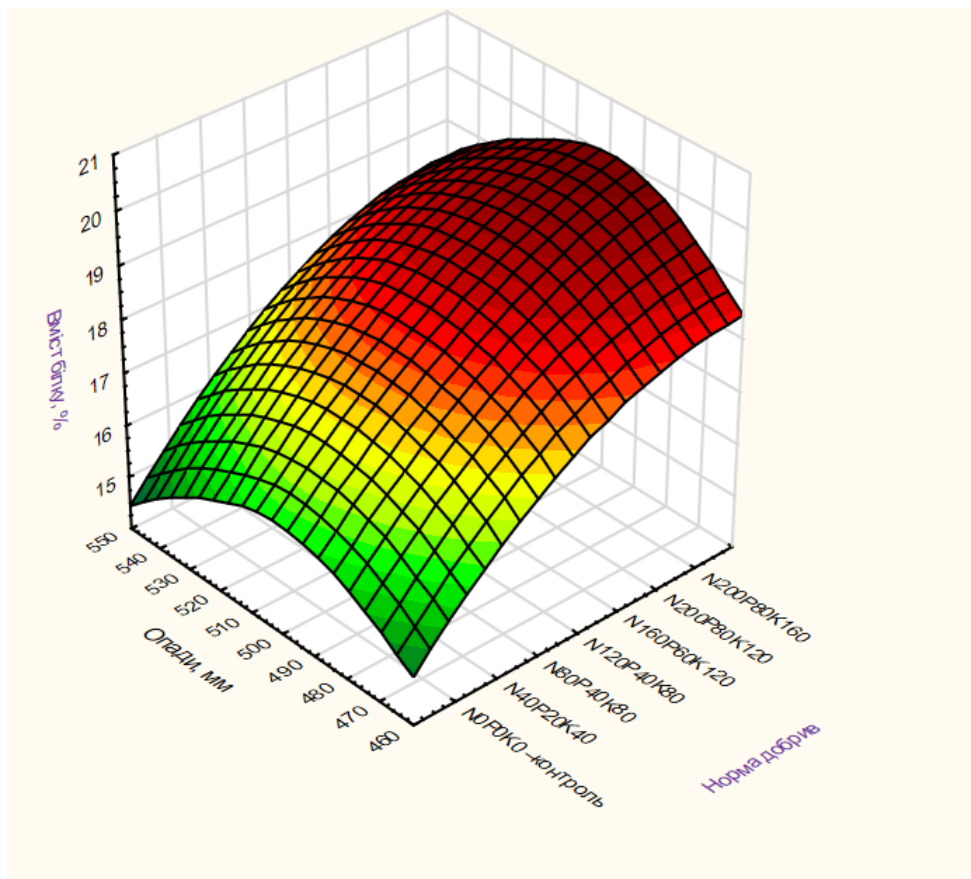


Рис. 7.11. Просторова 3Д модель регресії залежності вмісту білку від норм добрив та кількості опадів за період вегетації.

Дану залежність достовірно описує рівняння регресії:

$$Y = -30,3821 + 0,4786X_1 - 0,0041X_2;$$

де Y - вміст білку, %;

X_1 - норма добрив;

X_2 – опади, мм.

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,95$.

Множинний – $R = 0,98$.

Результати наших досліджень узгоджуються з науковими дослідженнями Шевчука і ін., в яких внесення азотних добрив істотно впливало на накопичення білка в зерні амаранту завдяки забезпеченню рослин доступним азотом для синтезу амінокислот та білків. Особливо значний ефект досягається за збалансованого NPK-живлення, де фосфор та калій підтримує метаболічні процеси та транспорт поживних речовин [225, 226].

Негативний вплив підвищеної кількості опадів на вміст білка підтверджується в роботах Любич В. В. і ін., які відзначають, що підвищена вологість може призвести до «розбавлення» поживних речовин у зерні та активувати метаболічні шляхи, спрямовані більше на накопичення крохмалю, ніж білкових сполук [113, 114]. Крім того, висока вологість може погіршити засвоєння азоту кореневою системою.

Підтверджено позитивну дію на накопичення вмісту білку синергії рівня урожайності і норм мінеральних добрив (рис. 7.12).

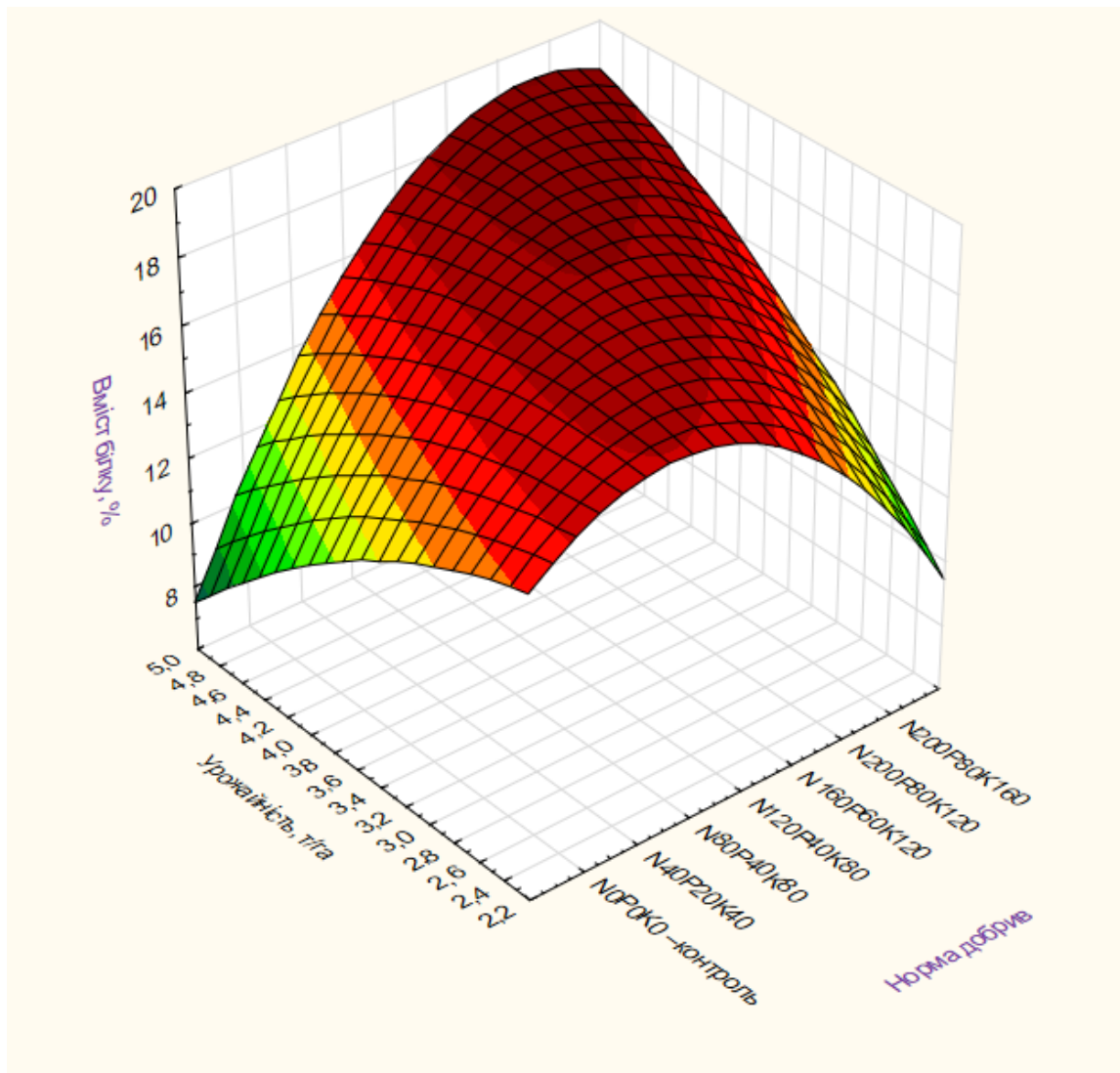


Рис. 7.12. Просторова 3Д модель регресії залежності вмісту білку від норм добрив та урожайності зерна амаранту.

Дану залежність достовірно описує рівняння регресії:

$$Y = 12,0741 + 0,0163 X_1 + 1,0447 X_2 ;$$

де - вміст білку, %;

X_1 - норми добрив;

X_2 – урожайність, т/га.

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,95$

Множинний – $R = 0,97$

Аналізуючи представлену 3D-модель регресії залежності вмісту білку в зерні амаранту від норм добрив та рівня урожайності, можна сформулювати наступні висновки: врожайність має значно сильніший позитивний вплив на накопичення вмісту білку, ніж норма добрив.

Модель має куполоподібну форму з максимумом вмісту білку при поєднанні високих норм добрив та оптимальної урожайності. Спостерігається зниження вмісту білку при надто високій урожайності (понад 4,6-5,0 т/га), що свідчить про існування оптимуму.

Рівняння регресії з коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0,95$ вказує на високу достовірність моделі.

Збалансоване удобрення амаранту сприяє формуванню оптимальної архітектури рослин та підвищенню ефективності фотосинтезу, що позитивно впливає як на урожайність, так і на біохімічний склад зерна. Позитивний кореляційний зв'язок між урожайністю та вмістом білку в амаранті пояснюється особливостями метаболізму C4-рослин. На відміну від традиційних злакових культур, де часто спостерігається обернена залежність між цими показниками, амарант здатний одночасно накопичувати високий рівень як крохмалю, так і білку за оптимальних умов вирощування. Спостереження щодо зниження вмісту білку при надмірно високій урожайності підтверджується дослідженнями Овсієнко С. М., щодо "ефекту розбавлення" - коли надмірно інтенсивний ріст призводить до зниження концентрації поживних речовин у біомасі [138]. Це пояснює куполоподібну форму моделі.

Більші норми добрив підвищували вміст жиру в насінні за дослідженнями [554]. Олія накопичується інтенсивніше у зерні амаранту за високих стандартів технології та за сприятливого природного забезпечення вологою рослин. Тривале та рівномірне зволоження зумовлює підвищення вмісту жирів в насінні. Зерно амаранту містить 5–8 % олії в середньому. Вона представлена головно триацилгліцеринами (78–82 %) [517]. Вміст олії у насінні був досить невеликий, але стабільний. За дослідженнями Ведмедєва К.В., Махова Т.В., і Левченко В.І. найнижчий середній вміст олії був у сорту Волотистий – 6,61 %, найбільший – 9,17 % у сорту Харківський 1 [18].

У наших дослідженнях вміст олії мало залежав від норми добрив і змінювався в інтервалі від 7,5 до 8,0 % (табл. 7.6).

Таблиця 7.6

Вміст олії у зерні амаранту сорту Харківський 1 залежно від норм добрив, %

Норма добрив	Роки			Середнє за роки	Приріст до контролю, %	Приріст до попереднього варіанту, %
	2019	2020	2021			
Контроль	7,5	7,3	7,7	7,5	-	-
N ₄₀ P ₂₀ K ₄₀	7,6	7,7	7,8	7,7	0,2	0,2
N ₈₀ P ₄₀ K ₈₀	7,9	7,5	8,0	7,8	0,3	0,1
N ₁₂₀ P ₄₀ K ₈₀	7,7	7,6	8,1	7,8	0,3	0,0
N ₁₆₀ P ₈₀ K ₁₂₀	7,9	7,8	8,0	7,9	0,4	0,1
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₂₀	7,9	7,9	7,9	7,9	0,4	0,0
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₆₀	7,9	7,9	8,2	8,0	0,5	0,1

Вміст олії зріс на 0,2 % за підвищення норм добрив до N₄₀P₂₀K₄₀. За подальшого збільшенні норми добрив до N₂₀₀P₈₀K₁₆₀ його вміст підвищився до 8,0 %, або на 0,5 % порівняно з варіантом без добрив. Вищі норми добрив істотно підвищували вміст білка, але менше впливали на вміст олії. На частку олії в зерні впливала норма опадів у період вегетації ($r = -0,32$). 3D-модель регресії (рис.

7.13) залежності вмісту олії в насінні амаранту від погодних умов під час вегетації і рівняння регресії демонструють, що обидва фактори мають негативний вплив на вміст олії в насінні амаранту.

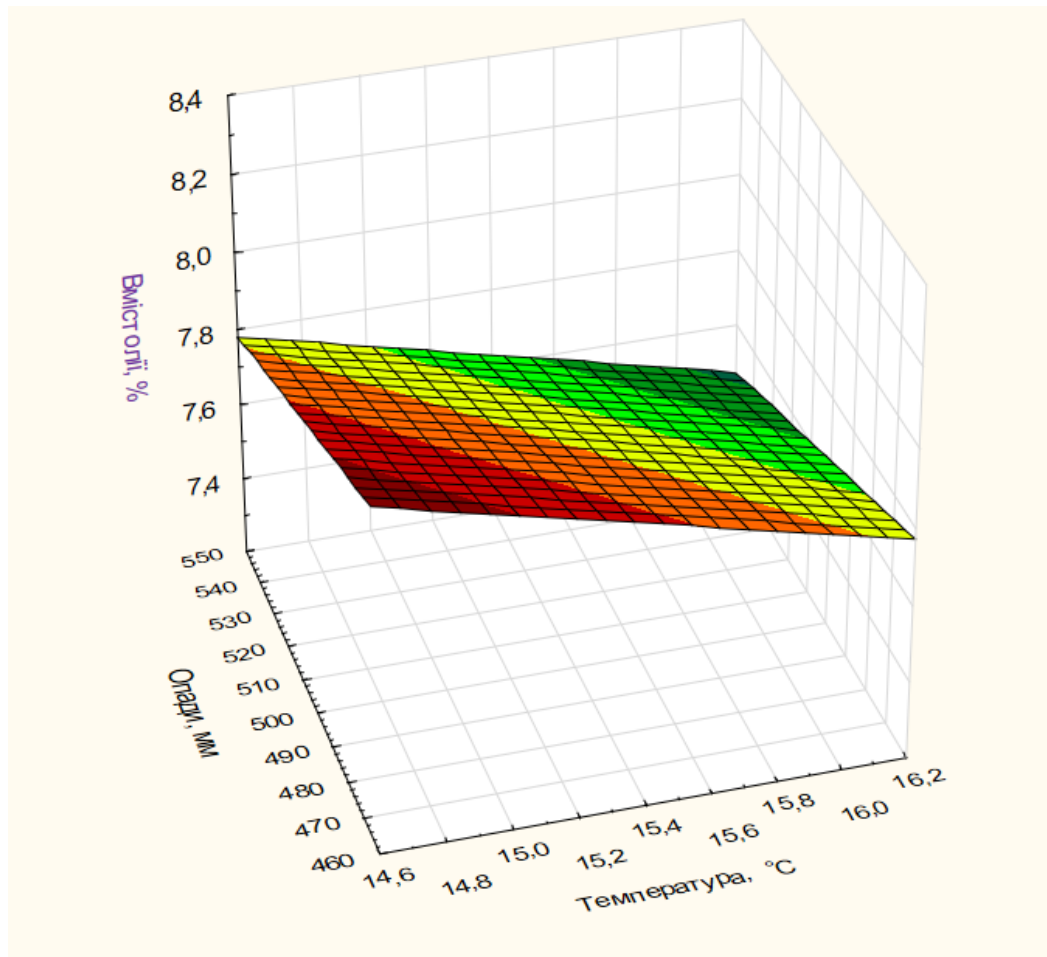


Рис. 7.13. Просторова 3Д модель регресії залежності вмісту олії від погодних умов в період вегетації амаранту.

Дану залежність достовірно описує рівняння регресії:

$$Y = 12,4726 - 0,1946 X_1 - 0,0034 X_2;$$

де Y - вміст олії, %;

X_1 - середньорічний показник температурного режиму, °C;

X_2 – опади, мм.

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,31$.

Множинний – $R = 0,56$.

Підвищення температури має більш виражений негативний вплив, збільшення олійності спостерігається за нижчих температур та меншій кількості опадів.

Значення коефіцієнта детермінації $R^2=0,31$ та множинного $R=0,56$, які вказують на відносно слабкий зв'язок між досліджуваними факторами та вмістом олії. Це означає, що представлена модель пояснює лише 31 % варіації вмісту олії, а інші 69 % залежать від факторів, не врахованих у моделі.

У травні 2019 року випало 161 мм опадів. Цей показник вищий від кліматичної норми 69 мм на 92 мм. Була недостатня аерація ризосфери, не вистачало кисню для нормального розвитку кореневої системи внаслідок перезволоження ґрунту. Несприятливі ґрунтові умови для мікробіоти ускладнили засвоєння елементів живлення кореневою системою, сповільнили ріст і розвиток амаранту. Це у підсумку спричинило зниження рівня врожайності і показників якості зерна.

Тривалим був період перезволоження впродовж двох місяців – травня і червня 2020 року. У травні випало 138 мм опадів. Це більше від норми вдвічі, або на 69 мм. Дошовим був червень, упродовж якого випало 140 мм, або більше від середніх багаторічних даних на 56 мм. Крім перезволоження, травень 2020 року був холоднішим за кліматичну норму. Середньомісячна температура в цьому місяці становила $10,9^{\circ}\text{C}$, що менше на $3,1^{\circ}\text{C}$ від норми. Надмірна кількість опадів у поєднанні з низькими температурами в травні спричинила зниження якості зерна у 2020 році, порівняно з 2019 та 2021 роками. Така реакція амаранту нормальна для культури тропічного походження, яка є теплолюбною та посухостійкою.

Найбільш сприятливими для формування якості зерна амаранту були гідротермічні умови 2021 року. Сума опадів була в межах норми у першій половині вегетації, внаслідок чого відсутнє перезволоження ґрунту у третьому році досліджень. Більша від норми кількість опадів у серпні (144 мм) та вересні (108 мм) уже не мала негативного впливу на формування врожаю амаранту. Сума температур цілком відповідала кліматичні нормі та біотичним властивостям

культури. Температура липня була найвищою за три роки досліджень і становила 21,7 °С, а це більше від норми на 3,1°С.

Ці результати частково узгоджуються з дослідженнями в галузі фізіології олійних культур. Згідно з роботами Юркевич Є. О. і ін., нижчі температури під час наливу насіння можуть сприяти синтезу ліпідів у насінні амаранту, особливо ненасичених жирних кислот, які становлять значну частку олії амаранту [18].

Однак низький коефіцієнт детермінації свідчить, що вміст олії в насінні амаранту, ймовірно, більше залежить від інших факторів, не включених у цю модель, таких як генотип, стадія стиглості при збиранні, агротехнічні прийоми або тип ґрунту. Це підтверджується дослідженнями Ogrodowska D. та співавт. [450], де показано, що генетичні фактори та система удобрення мають значно більший вплив на вміст олії в насінні амаранту, ніж погодні умови (рис. 7.14).

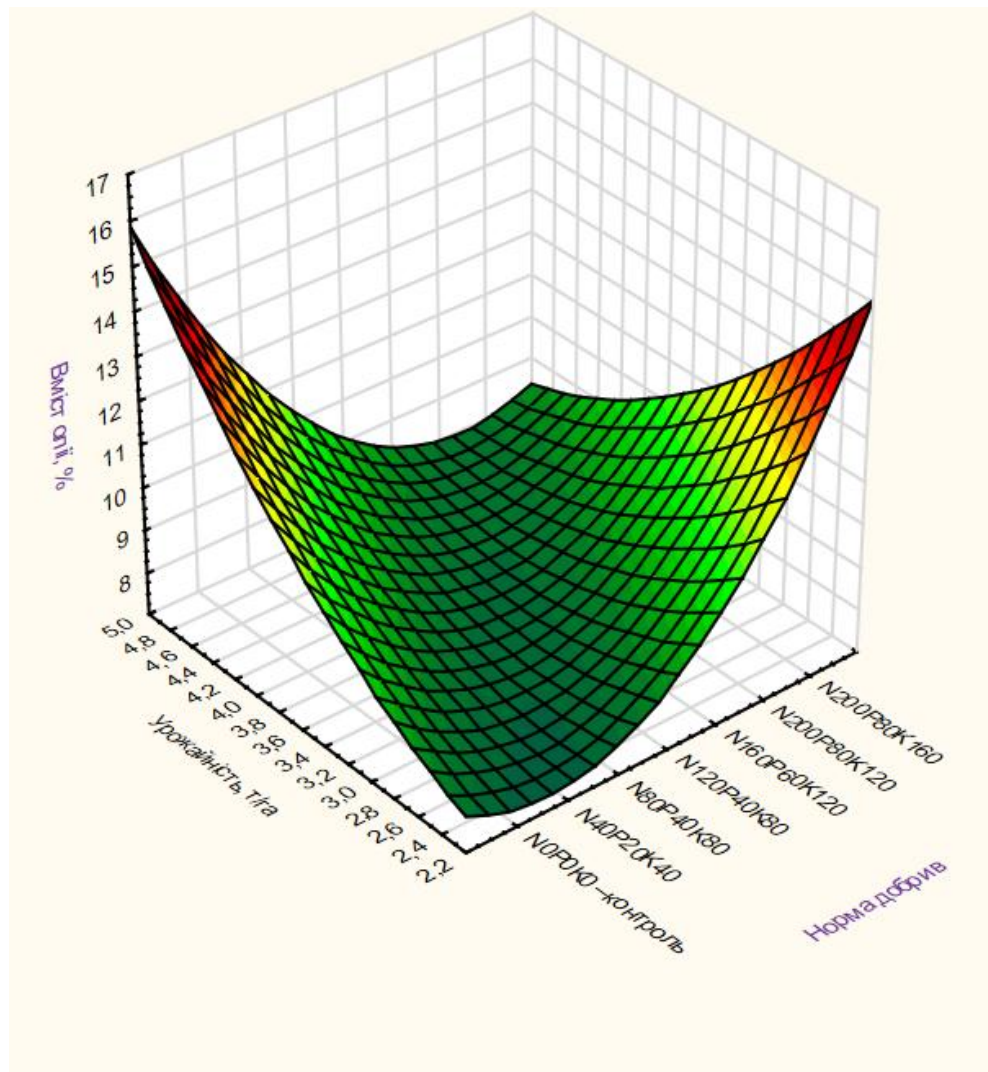


Рис. 7.14. Просторова 3Д модель регресії залежності вмісту олії від рівня врожайності амаранту та норм мінеральних добрив.

Дану залежність достовірно описує рівняння регресії:

$$Y = 7,0323 + 0,0015 X_1 + 0,158 X_2;$$

де Y - вміст олії, %;

X_1 - норма добрив;

X_2 – урожайність, т/га.

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,71$.

Множинний – $R = 0,84$.

За результатами наших досліджень, вплив рівня врожайності та норм внесення мінеральних добрив на накопичення вмісту олії в зерні амаранту був більш значним відносно погодних умов. 3D модель регресії демонструє залежність вмісту олії від цих двох факторів: урожайності зерна (2,2-5,0 т/га) та норм внесення добрив (від контрольного варіанту без добрив до $N_{120}P_{80}K_{160}$).

Рівняння регресії демонструє, що обидва фактори мають позитивний вплив на вміст олії, з коефіцієнтом детермінації $R^2=0,71$ та множинним $R=0,84$, що свідчить про достатньо високу достовірність моделі.

Особливостями моделі є U-подібна поверхня відгуку, що свідчить про наявність мінімуму вмісту олії при певних комбінаціях урожайності та норм добрив. Найвищий вміст олії (14-17 %) досягається на крайніх значеннях урожайності (2,2-2,4 т/га та 4,8-5,0 т/га) за високих норм внесення мінеральних добрив. Мінімальний вміст олії (8-10 %) спостерігається при середніх значеннях урожайності (3,4-3,8 т/га). Ці результати можна пояснити з точки зору фізіології рослин та біохімії формування насіння.

Коефіцієнт детермінації ($R^2=0,71$) вказує, що модель пояснює 71 % варіації вмісту олії, що є значно вищим показником порівняно з попередньою моделлю залежностей від погодних умов ($R^2=0,31$). Це підтверджує, що агротехнічні фактори (норми добрив та пов'язана з ними урожайність) мають більший вплив на вміст олії в насінні амаранту, ніж погодні умови.

Натура зерна найбільше залежить від форми і розмірів зерна. Чим більше в об'ємі 1 л вміщується насінин, тим вищою буде показник натури. Висока

крупність зерна, зазвичай, знижує натуру, оскільки при цьому підвищується шпаруватість маси зерна. Вивчення впливу добрив на фізичні якості зерна амаранту залежно від добрив показало, що натура зерна нижча (702 г та 699 г) на варіантах із застосуванням добрив $N_{30}P_{60}K_{60}$ та $N_{60}P_{60}K_{60}$ [29]. Подальше збільшення дози азоту підвищує натуру зерна, що пов'язано з явищем різноякісності зерна, яке виникає внаслідок формування його на бокових пагонах. Крім того, у виду *A. hypochondriacus*, який має крупніше зерно, ніж *A. hybridus*, натурна маса була меншою [34].

У наших дослідженнях натура зерна була найвищою (790 г/л) на контролі без добрив, тобто на варіанті з дрібнішим зерном (табл. 7.7).

Таблиця 7.7

Натура зерна амаранту сорту Харківський 1 залежно від норм добрив

Норма добрив	Роки			Середнє за роки, г/л	Менше до контролю, г/л	Маса 1000 насінин, г
	2019	2020	2021			
Контроль	792	798	780	790	-	0,86
$N_{40}P_{20}K_{40}$	787	790	775	784	-6	0,87
$N_{80}P_{40}K_{80}$	773	782	770	775	-15	0,88
$N_{120}P_{40}K_{80}$	776	775	765	772	-18	0,88
$N_{160}P_{60}K_{120}$	760	763	757	760	-30	0,89
$N_{200}P_{80}K_{120}$	754	758	751	755	-35	0,90
$N_{200}P_{80}K_{160}$	753	752	745	750	-40	0,91

На варіанті з внесенням $N_{40}P_{20}K_{40}$ вона знизилась до 784 г/л, і за подальшого зростання норми внесених добрив продовжувала зменшуватись до 750 г/л за найвищої норми добрив - $N_{200}P_{80}K_{160}$.

Аналіз графіка (рис. 7.15) показує, що існує чітка обернена залежність між урожайністю амаранту і натурою зерна.

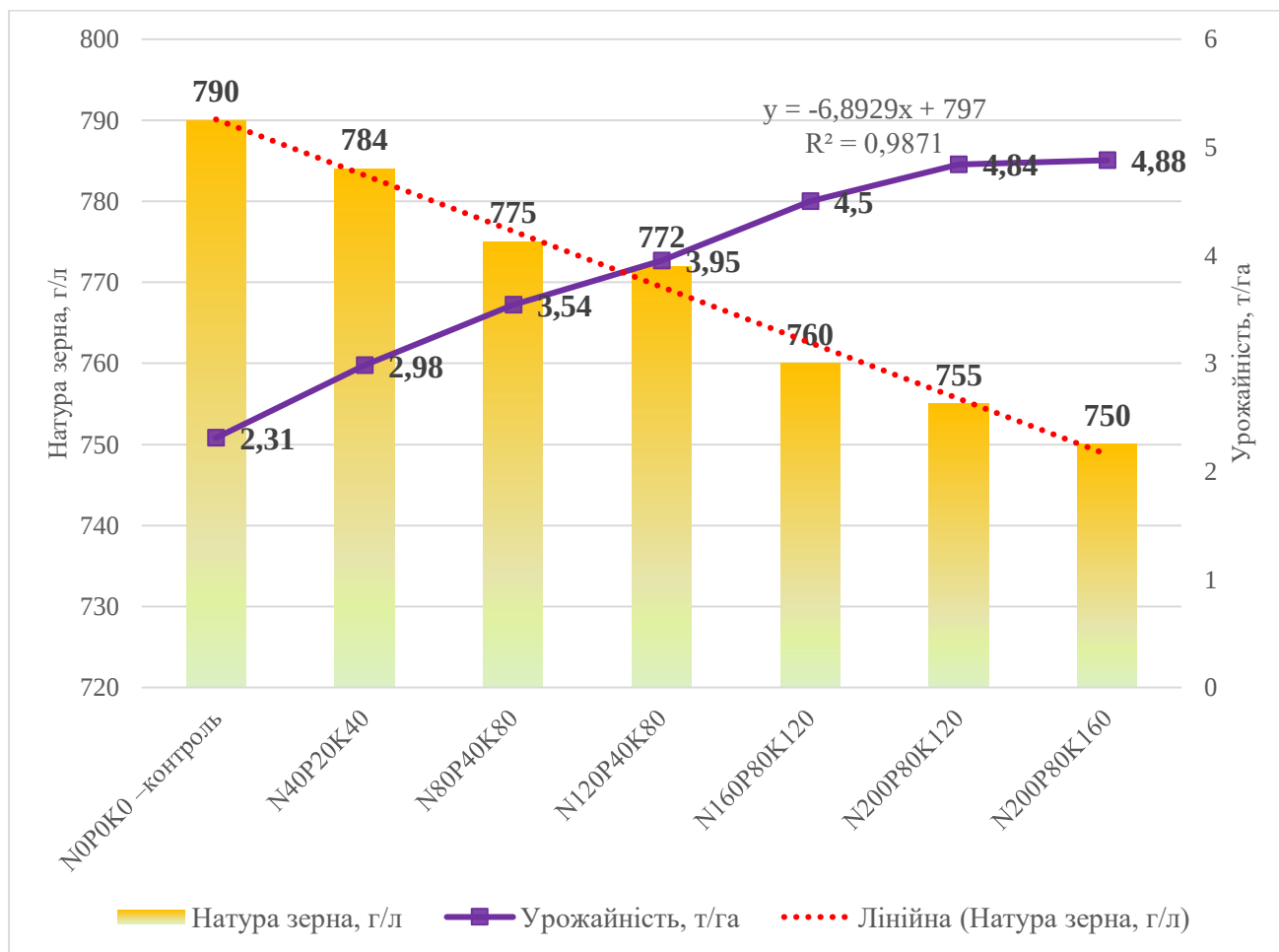


Рис. 7.15. Натура зерна амаранту залежно від рівня урожайності сорту Харківський 1.

Найвищий показник натури зерна (790 г/л) зафіксовано на контрольному варіанті без внесення добрив, де урожайність найнижча (2,31 т/га). Поступове підвищення норми внесення мінеральних добрив призводить до зниження натури зерна та підвищення урожайності.

Особливо інтенсивне зниження натури зерна при нормах добрив від $N_{120}P_{40}K_{80}$ до $N_{200}P_{80}K_{160}$, у той час як урожайність на цих варіантах зростає менш стрімко і навіть виходить на плато між $N_{200}P_{80}K_{120}$ та $N_{200}P_{80}K_{160}$.

Високий коефіцієнт детермінації ($R^2 = 0,9871$) демонструє дуже сильний обернений зв'язок між натурою зерна та врожайністю амаранту сорту Харківський 1. Це дозволяє з високою точністю прогнозувати зміну натури зерна залежно від рівня врожайності, яка досягається шляхом внесення норм різних добрив.

Обернену залежність спостерігали між масою 1000 насінин та натурою зерна амаранту за різних варіантів удобрення (рис. 7.16).

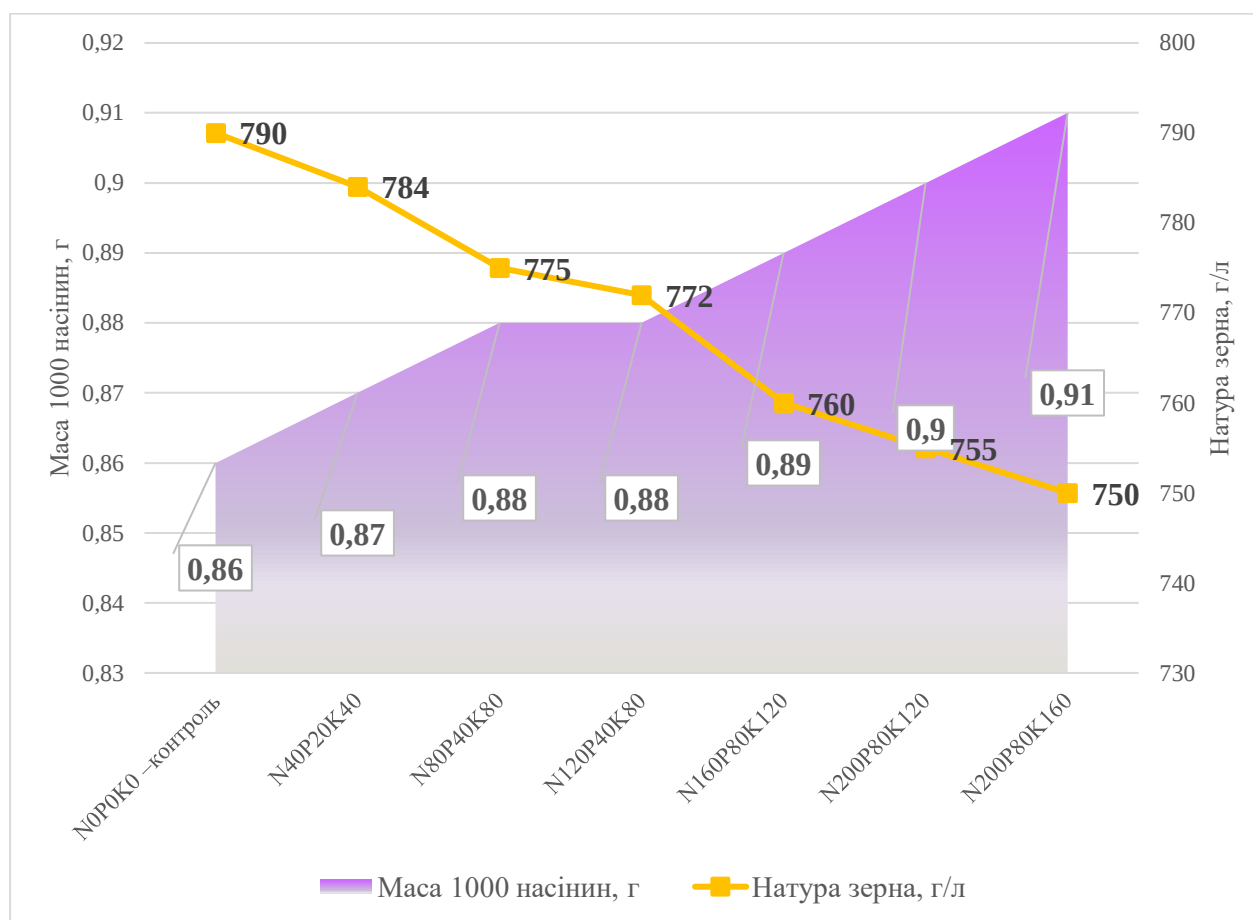


Рис. 7.16. Вплив норм мінерального удобрення на масу 1000 насінин і натуру зерна амаранту.

Маса 1000 насінин зростає з 0,86 г на контролі до 0,91 г за максимальної норми добрив. Натура зерна знижується з 790 г/л на контролі до 750 г/л за максимальної норми добрив. Тобто при збільшенні норм внесення мінеральних добрив спостерігається одночасне збільшення маси 1000 насінин та зниження натури зерна, що підтверджує наявність оберненої залежності між цими показниками. Зокрема, це пояснюється особливостями формування насіння амаранту. При підвищеному мінеральному живленні, особливо азотному, відбувається інтенсивніше накопичення запасних речовин у насінні, що призводить до збільшення маси окремих насінин. Однак при цьому може

змінюватися форма насінин і знижуватися їх щільність, що призводить до зменшення натури зерна.

Кравцов О. В., Юркевич Є. О., і Валентюк Н. О. у своїх дослідженнях вказують на те, що більші за розміром насінини амаранту часто мають менш щільну упаковку запасних речовин та більш пухку структуру, що призводить до зниження показника натури зерна [92]. Це пояснюється тим, що при інтенсивному удобренні насінини формуються швидше, з більшим вмістом білку та олії, але з менш щільною структурою ендосперму. Така обернена залежність є характерною саме для дрібнонасінних культур, до яких належить амарант. На відміну від традиційних злакових культур, де збільшення маси 1000 насінин часто супроводжується підвищенням натури зерна, у амаранту спостерігається протилежна тенденція.

Енергетичні вуглеводи в зерні амаранту представлені в основному крохмалем [92]. Вміст вуглеводів за результатами наших досліджень коливався у діапазоні 64,8–67,4 % (табл. 7.8).

Таблиця 7.8

Вміст вуглеводів у зерні амаранту сорту Харківський 1 залежно від норм добрив

Норма добрив	Роки			Середнє	Зміна вмісту вуглеводів відносно контролю, %
	2019	2020	2021		
Контроль	67,0	68,0	67,0	67,4	-
N ₄₀ P ₂₀ K ₄₀	66,7	68,0	66,3	67,0	-0,4
N ₈₀ P ₄₀ K ₈₀	65,8	67,1	65,7	66,2	-1,2
N ₁₂₀ P ₄₀ K ₈₀	65,5	67,0	64,0	65,5	-1,9
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	65,4	65,7	64,8	65,3	-2,1
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₂₀	64,9	65,1	64,4	64,8	-2,6
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₆₀	64,8	65,2	64,4	64,8	-2,6

Найвищий вміст вуглеводів був на контрольному варіанті без добрив - 67,4 %, а за внесення норм добрив $N_{200}P_{80}K_{120}$ та $N_{200}P_{80}K_{160}$ зменшився до 64,8 %

На тривимірному поверхневому графіку (рис. 7.17) показано, як змінюється вміст вуглеводів у зерні амаранту залежно від норм внесених мінеральних добрив та рівня урожайності.

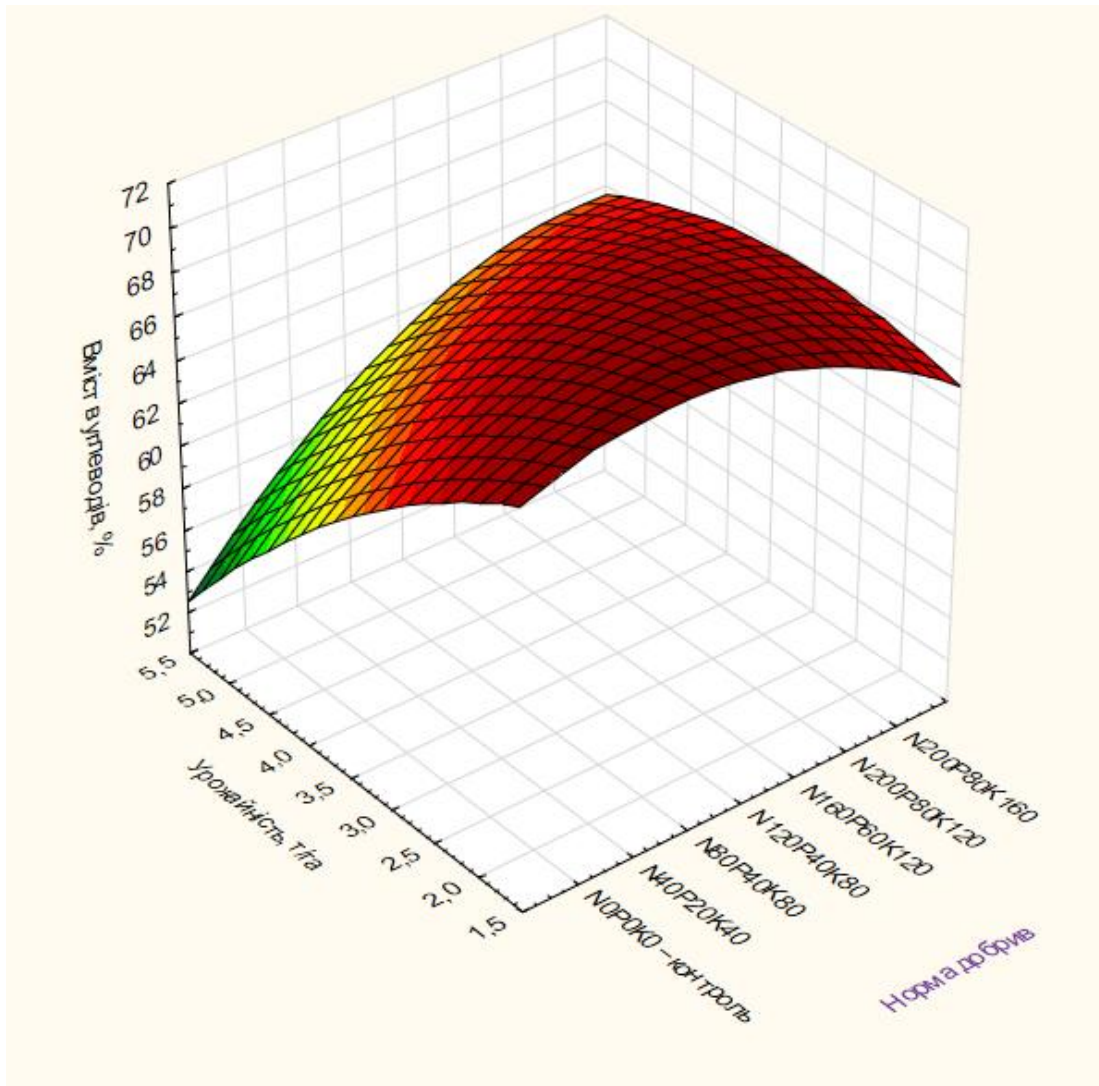


Рис. 7.17. Вплив норм мінерального удобрення і врожайності амаранту на вміст вуглеводів в зерні.

Дану залежність достовірно описує рівняння регресії:

$$Y = 29,8649 + 0,4154 X_1 - 1,98 X_2;$$

де Y - вміст вуглеводів, %;

X_1 - норма добрив;

X_2 - урожайність, т/га.

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,88$.

Множинний $R = 0,94$.

Коефіцієнт детермінації і коефіцієнт множинної кореляції, що вказує, що приблизно 88 % варіацій у вмісті вуглеводів можна пояснити цими двома факторами, і зв'язок досить сильний.

Візуалізація демонструє, що вміст вуглеводів спочатку збільшується як із внесенням добрив, так і з урожаєм, але потім починає знижуватися на більш високому рівні врожаю. Це передбачає оптимальне поєднання внесення добрив і врожайності для максимізації вмісту вуглеводів у зерні амаранту.

Цей зв'язок узгоджується з даними наукової літератури про вирощування амаранту. Управління поживними речовинами значно впливає на біохімічний склад зерна амаранту. В той час як внесення азотних добрив зазвичай підвищує врожайність амаранту, надмірне внесення може змінити склад зерна, включаючи вміст вуглеводів [29, 32, 346, 452, 478].

На рис. 7.18 показано тривимірний поверхневий графік впливу норм мінеральних добрив і натури зерна на вміст вуглеводів у зерні амаранту.

Дану залежність достовірно описує рівняння регресії:

$$Y = -21,0088 + 0,1658 X_1 + 0,0903 X_2;$$

де Y - вміст вуглеводів, %;

X_1 - норма добрив;

X_2 – натура зерна, г/л.

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,81$

Множинний – $R = 0,90$

Площина регресії має характерну форму, де вміст вуглеводів коливається приблизно від 65 % до 95 %.

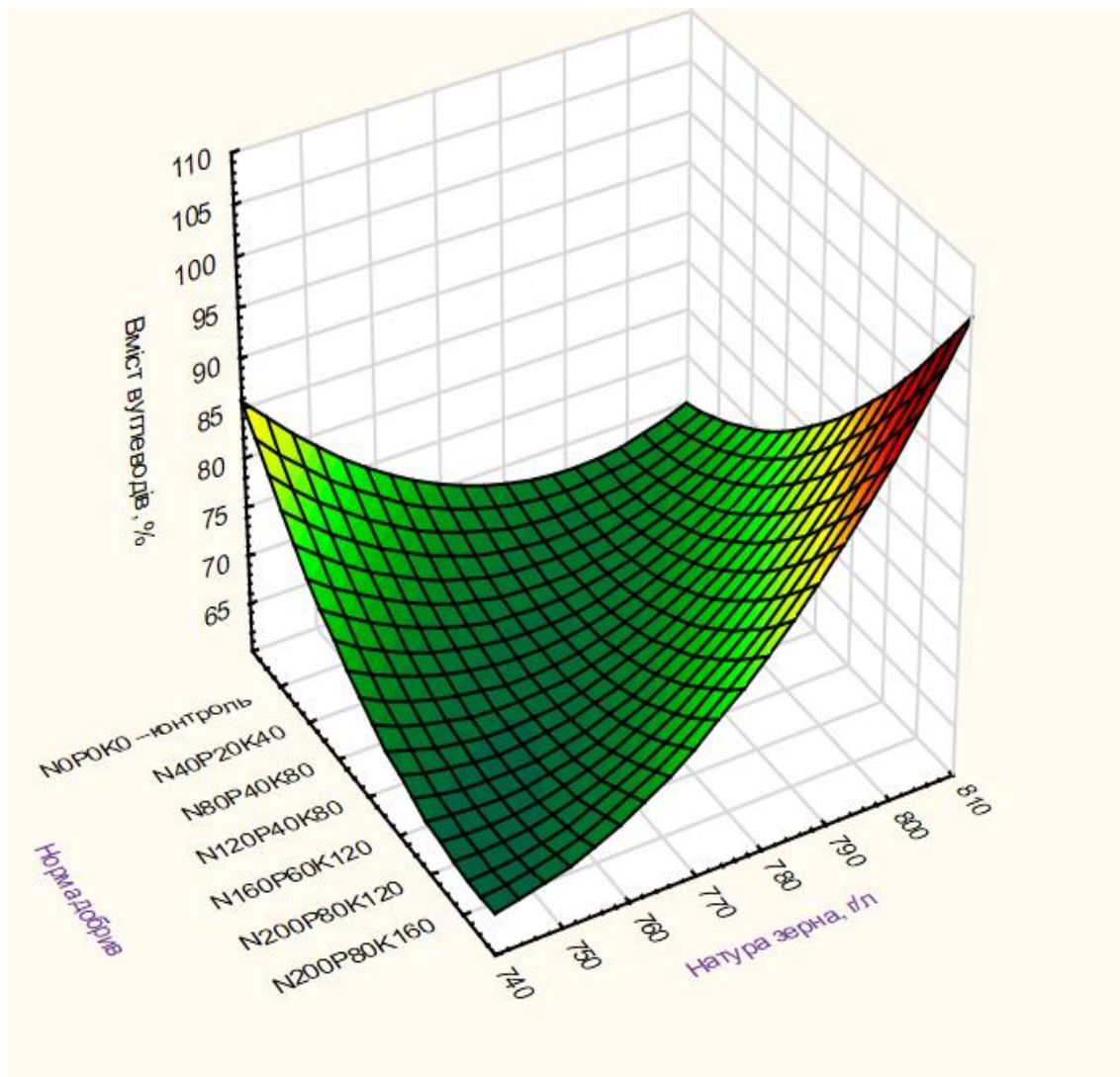


Рис. 7.18. Вплив норм мінерального удобрення і натури зерна амаранту на вміст вуглеводів в зерні.

Коефіцієнт детермінації ($R^2 = 0,81$) і коефіцієнт множинної кореляції ($R = 0,90$) вказує на те, що приблизно 81 % варіації вмісту вуглеводів можна пояснити досліджуваними факторами. Ця залежність демонструє, що на вміст вуглеводів у зерні амаранту позитивно впливає як внесення добрив, так і натура зерна. Характерна U-подібна поверхня свідчить про те, що вміст вуглеводів досягає мінімальних значень за помірних рівнів обох факторів, але значно зростає, коли або норми добрив є високими, або натура зерна висока.

Ці висновки узгоджуються з дослідженнями Repo-Carrasco-Valencia R. і ін., що управління поживними речовинами значно впливає на фізичні властивості та хімічний склад зерна амаранту [489]. Позитивний зв'язок між

натурою зерна та вмістом вуглеводів є помітним, оскільки це свідчить про те, що більш щільні зерна амаранту можуть накопичувати більше вуглеводів, що характерно для параметрів якості зерна псевдозернових, таких як амарант.

7.3 Вміст жирних кислот в олії сортів амаранту

Серед культурних амарантів види *Amaranthus caudatus*, *Amaranthus cruentus* і *Amaranthus hypochondriacus* мають найвищу харчову цінність. Амарант перспективний для фармацевтичної промисловості і виробництва багатьох функціональних продуктів харчування завдяки унікальному хімічному складу. У зерні амаранту міститься 14 % білка, 7 % ліпідів, 65 % вуглеводів, 7 % харчових волокон, 3 % золи, 11 % води [323, 349, 412, 441, 573].

Дуже цінною є і олія амаранту. Унікальний склад олії насіння амаранту робить її корисним інгредієнтом у харчовій, фармацевтичній та косметичній промисловості [265, 280, 441, 509]. Амарантова олія має багатий склад корисних речовин. Більшу частину (понад 70 %) становлять ненасичені жирні кислоти, як-от лінолева, олеїнова, ліноленова, арахідонова та пальметолеїнова. Олія також містить значну кількість фосфоліпідів (більше 9 %), серед яких переважає фосфатидилхолін. Крім того, в амарантовій олії присутній сквален (понад 8 %), вітамін Е (близько 2 %), фітостероли (більше 2 %), а також каротиноїди, які є попередниками вітаміну А. До складу входять також вітамін D та жовчні кислоти. Олія багата на різноманітні мінерали, включаючи калій, залізо, фосфор, кальцій, магній та мідь, серед інших макро- та мікроелементів. [42, 265, 280, 364, 391, 441, 509].

Аналіз вмісту жирних кислот в олії амаранту показав, що сорт має значний вплив на цей показник. Так, найбільший вміст важливої олеїнової кислоти (Омега-9) був у сортів Харківський 1, Студентський та Сем, відповідно 37,1; 36,7; 35,8 % (табл. 7.9).

**Вміст жирних кислот в олії залежно від сорту, середнє за 2019-2021
рр., %**

Сорт	Лінолева	Олеїнова	Пальмітинова	Ліноленова
Ультра	49,6	26,8	18,7	1,0
Студентський	40,8	36,7	18,2	1,3
Харківський 1	40,9	37,1	17,6	1,3
Лера	47,1	29,3	19,2	1,1
Ацтек	51,8	25,6	18,5	0,4
Сем	41,2	35,8	17,8	1,2

Коефіцієнт кореляції засвідчив помірну негативну кореляцію - $r = -0,42$. Меншим вмістом (29,3 %) цієї кислоти характеризувався сорт Лера і найменше її було у сортів Ультра (26,8 %) та Ацтек (25,6 %). Різниця за цим показником між сортом Харківський 1 та сортом Ацтек становить 11,5 %.

За вмістом лінолевої кислоти спостерігалась протилежна закономірність. У сортів Студентський, Харківський 1 та Сем вміст лінолевої кислоти (Омега-6) був нижчим, відповідно 40,8; 40,9; 41,2 %. Сорти Ацтек, Ультра та Лера мали підвищений вміст цієї кислоти – 51,8; 49,6; 47,1 %. Коефіцієнт кореляції засвідчив дуже слабку кореляцію - $r = 0,02$.

Сорт майже не мав впливу на вміст пальмітинової кислоти. Він коливався у невеликому діапазоні – від 17,6 % до 19,2 %. Коефіцієнт кореляції засвідчив помірну негативну кореляцію - $r = -0,42$. Така ж закономірність була характерна для вмісту ліноленової кислоти, яка змінювалась від 1,0 % до 1,3 %. Лише у сорту Ацтек вміст ліноленової кислоти був удвічі меншим, порівняно з іншими сортами. Коефіцієнт кореляції засвідчив помірну кореляцію - $r = 0,41$.

Для подальших досліджень у 2020-2022 рр. був вибраний сорт Харківський 1 з найкращою якістю олії. Було визначено три основні жирні кислоти, а також і інші з меншим їх вмістом (табл. 7.10).

Вміст жирних кислот у олії амаранту сорту Харківський 1, %

Жирні кислоти	Роки			Середнє
	2020	2021	2022	
Лінолева C18:2 Омега 6	39,6	40,6	40,4	40,2
Олеїнова C18:1 Омега 9	36,5	37,4	37,1	37,0
Пальмітинова C16:0	17,0	17,4	17,2	17,2
Стеаринова C18:0	3,0	3,2	3,1	3,1
Ліноленова C18:3 Омега 3	1,2	1,2	1,2	1,2
Арахідонова C20:4	0,6	0,6	0,6	0,6
Ейкозенова C20:1	0,2	0,2	0,2	0,2
НІР 05 %	4,36	3,55	3,60	

У середньому за три роки найвищим був вміст лінолевої кислоти – 40,2 %. Вміст олеїнової кислоти становив 37,0 %, а пальмітинової – 17,2 %. Стеаринова жирна кислота містилась в олії амаранту в кількості 3,1 %, ліноленова – 1,2 %. Вміст інших кислот був значно нижчим. Так, показник арахідонової кислоти становив лише 0,6 %, а ейкозенової – 0,2 %. Вміст жирних кислот майже не залежав від гідротермічних умов року змінюючись в межах 1-3 %.

Подібні результати одержано у дослідженнях Гопцій з співав. [29], вміст лінолевої кислоти становив 38,0 %, олеїнової 35,7 %, пальмітинової 21,6 %, стеаринової 3,4 %, ліноленової 1,0 %. Серед досліджуваних видів (*A. caudatus*, *A. mantegazzianus*, *A. hybridus*, *A. cruentus*, *A. hypochondriacus*) найкраща якість олії в *A. hypochondriacus*, де найвищий вміст олеїнової кислоти і найнижчий пальмітинової, порівняно з іншими видами.

Жирнокислотний склад олії амаранту, вирощеного на півдні України подано також в іншій праці. Олія амаранту складається в основному з трьох кислот: пальмітинової, олеїнової та лінолевої. У сорту Харківський 1 вміст жирних кислот був таким: олеїнова - 40,16 %, лінолева – 36,31 %, пальмітинова – 21,56 %, стеаринова – 1,48 %, ліноленова – 0,48 %, ейкозенова – 0,17 %. З усіх

зразків Харківський 1 суттєво вирізняється від інших в бік зменшення вмісту лінолевої кислоти до 36,31 %. Усі інші містять 45–48 % лінолевої кислоти в олії. Друга за кількістю олеїнова кислота 27–40 %. Відповідно достовірно вирізняється високим вмістом 40,16 % сорт Харківський 1. Вміст пальмітинової кислоти в олії амаранту був на рівні 18,67–22,50 % [42].

У дослідженнях, проведених у Словаччині, ліолева, пальмітинова та олеїнова кислоти теж були домінуючими жирними кислотами в усіх зразках олії. Рівень лінолевої кислоти становив 33,3–38,7 % (*A. cruentus*) та 31,7–47,5 % (*A. hypochondriacus*) у 2010 році та 34,6–39,9 % (*A. cruentus*) і 34–44,5 % (*A. hypochondriacus*) у 2011 р. Також спостерігалися жирні кислоти у менших кількостях, тобто стеаринова, α -ліноленова та арахідонова кислоти. Ейкозенова та бегенова кислоти були присутні у невеликих кількостях [365].

Фіторе mediaція ґрунту амарантом

Дослідження в Європі показали, що *Amaranthus retroflexus* має високий потенціал накопичення та транслокації металів як у помірно, так і у сильно забруднених місцевостях. Найвищі концентрації Ba, Mn, Sr та Zn виявлено в листках, а Al, Cr, Cu, Fe та Pb – у коренях. Високі значення коефіцієнта біоаккумуляції (BAF) зафіксовано для Sr в усіх досліджених зонах [297, 363, 559, 580].

За результатами проведених досліджень, питома активність радіонуклідів у зерні амаранту виявилась найвищою по K_{40} та складала 158 Бк/кг (табл. 7.11).

Таблиця 7.11

**Інтенсивність накопичення і винесення радіонуклідів з зерном амаранту,
Бк/кг*, середнє за 2019-2021 рр.**

Радіонукліди	Питома активність радіонуклідів		Коефіцієнт накопичення радіонуклідів	Винесення з ґрунту радіонуклідів, Бк/кг
	ґрунт	зерно		
K_{40}	320 $\pm$ 14	158 $\pm$ 2,7	0,49	363400
Ra ₂₂₆	24,5 $\pm$ 1,7	11,9 $\pm$ 0,4	0,48	27370
Th ₂₃₂	19,3 $\pm$ 1,2	25,7 $\pm$ 0,3	1,33	59110

*Урожайність зерна – 2,3 т/га

Зокрема, порівняно з Ra_{226} та Th_{232} питома активність K_{40} у зерні амаранту була вища у 13,2 рази та 6,1 рази відповідно. Характеризуючи коефіцієнт накопичення радіонуклідів зерном амаранту необхідно відмітити, що найвищий даний показник спостерігався по Th_{232} . Так, коефіцієнт накопичення Th_{232} у зерні амаранту порівняно з K_{40} та Ra_{226} був вищим у 2,7 рази і 2,8 рази відповідно.

За результатами досліджень встановлено (табл. 7.11), що загальна кількість досліджуваних радіонуклідів, яка була винесена з ґрунту складає 449880 Бк/кг. З яких 80,7 % - K_{40} , 6,08 % - Ra_{226} та 13,1 % - Th_{232} . Найбільша кількість винесення з ґрунту з зерном амаранту спостерігалась по K_{40} , яка складала 363400 Бк/кг, що більше порівняно з K_{40} та Ra_{226} у 13,3 рази і 6,14 рази відповідно.

Характеризуючи концентрацію важких металів у зерні амаранту (табл. 7.12) необхідно відмітити деякі перевищення допустимих рівнів по Cd.

Таблиця 7.12.

**Інтенсивність накопичення важких металів зерном амаранту, мг/га,
середнє за 2019-2021 рр.**

Важкі метали	Концентрація важких металів				Коефіцієнти:	
	ґрунт	ДР	зерно	ДР	накопичення	небезпеки
Cd	0,087±0,0031	0,7	0,116±0,021	0,1	1,33±0,23	1,16
Zn	2,6±0,41	23	10,6±0,8	50	4,0±0,37	0,21
Cu	0,91±0,014	3,0	4,47±1,3	10	4,9	0,44

Зокрема, концентрація Cd у зерні амаранту була вища за допустимі рівні, які складають 0,1 мг/кг у 1,16 рази, тоді як по Zn та Cu навпаки – нижча у 4,7 та 1,49 рази відповідно. Найвищий коефіцієнт накопичення важких металів у зерні амаранту виявлено по Cu. Так, коефіцієнт накопичення Cu у зерні амаранту був вищим порівняно з Cd та Zn у 3,7 та 1,2 рази відповідно. Однак, коефіцієнт небезпеки важких металів у зерні амаранту виявився найвищим по Cd, який переважав показники Zn та Cu у 5,5 та 2,6 рази.

Характеризуючи інтенсивність винесення важких металів з ґрунту зерном амаранту (табл. 7.13) необхідно відмітити, що загальна кількість досліджуваних

металів склала 37329 мг з одного гектару площі, з яких Cd – 7,14 %, Zn – 65,3 % та Cu – 27,5 %.

Таблиця 7.13

Інтенсивність винесення важких металів з ґрунту зерном амаранту, мг/га, середнє за 2019-2021 рр.

Важкі метали	Урожайність зерна (2019 – 2021 рр.), т/га	Концентрація важких металів, мг/кг	Винесення з ґрунту важких металів, мг/га
Cd	2,3	0,116±0,021	2668
Zn	2,3	10,6±0,8	24380
Cu	2,3	4,47±1,3	10281

Найвищий рівень винесення з ґрунту важких металів зерном амаранту спостерігався по Zn, який склав 24380 мг/га і порівняно нижчий у 9,1 та 2,3 рази по Cd і Cu відповідно.

Сумарна активність природних радіонуклідів у зерні ($K_{40} + Ra_{226} + Th_{232}$) становить близько 195 Бк/кг, що значно нижче за межу 370 Бк/кг, прийняту ВООЗ як граничну для харчових продуктів. Показники питомої активності для K_{40} , Ra_{226} і Th_{232} перебувають у межах природного фону, не перевищують нормативів і не створюють радіаційного ризику для здоров'я споживачів. Його радіоактивність відповідає природному фоновому рівню, типовому для зернових культур України і не потребує спеціальної переробки або обмежень при реалізації, може бути використане для виробництва харчових продуктів і кормів.

Зерно амаранту є безпечним для споживання людиною. Концентрації важких металів не перевищують допустимі рівні, за винятком незначного перевищення кадмію, яке не створює суттєвої загрози. Загалом, амарант із наведеними показниками можна класифікувати як екологічно безпечну продовольчу сировину.

Висновки до розділу 7

1. За результатами наших досліджень встановлено, що найвищий вміст білку був у сортів Харківський 1 та Ацтек – відповідно 19,2 % та 19,0 %. Високий вміст білку мав також сорт Лера – 18,6 %. Найменшим вмістом білку відрізнявся сорт Ультра (16,2 % – на 3,0 % менше порівняно з сортом Харківський 1). Відносно низький вміст білку – 17,4 % та 17,7 % дослідили у сортів Студентський та Сем.

2. Найвищий вміст олії був у сорту Ацтек – 8,2 %. Високим він був в зерні сортів Студентський та Харківський 1, де цей показник становив, відповідно 7,6 % та 7,8 %. Найнижчий вміст олії був у сорту Ультра, лише 5,0 %, що менше на 3,2 % порівняно з сортом Ацтек.

3. Вихід олії з 1 га був найвищим у сорту Харківський 1 завдяки високій врожайності зерна, незважаючи на те, що за вмістом олії в ньому цей сорт поступався сорту Ацтек. Найнижчим вихід олії з 1 га був у сорту Ультра – 0,10 т/га. Отже, сорт Харківський є придатний для отримання найбагатшого білком та олією зерна і, одночасно, саме він був найбільше урожайним в умовах Лісостепу західного.

4. Вміст сквалену серед досліджуваних сортів коливався в межах 6,0-7,5 %. Найвищим вмістом 7,5 % відзначився сорт Харківський 1, а найменшим сорти Студентський та Ультра (6,2 – 6,0 %). За результатами кореляційно – регресійного аналізу встановлено, що максимальний вміст сквалену досягається при високих значеннях урожайності, вмісту білку та олійності.

5. Серед досліджуваних сортів, найвищий вміст вуглеводів 71,4 %, за роки досліджень, зафіксовано у сорту Ультра, який виступає як стандарт у дослідженні. Найнижчий вміст вуглеводів має сорт Ацтек - 64,8 %, різниця між показником сорту Ультра та сорту Ацтек становить 6,6 %.

6. Під впливом мінеральних добрив вміст білку у зерні амаранту сорту Харківський 1 зростав. Якщо на варіанті без добрив він становив 16,2 %, то на фонах $N_{200}P_{80}K_{120}$ та $N_{200}P_{80}K_{160}$ підвищився до 18,9 %, що на 2,7 % більше від

контролю. За результатами кореляційно-регресійного аналізу встановлено, що підвищення норми мінеральних добрив має сильний позитивний вплив на вміст на вміст білку.

7. Уміст олії менше залежав від норми добрив і змінювався в інтервалі від 7,5 до 8,0 %. За збільшення норми добрив до $N_{200}P_{80}K_{160}$ її вміст підвищився до 8,0 %, або на 0,5 % порівняно з варіантом без добрив.

8. Встановлено чітку обернену залежність між урожайністю амаранту і натурою зерна. Натура зерна, або маса зерна об'ємом 1 літр, була найвищою (790 г/л) на варіанті без добрив, де насіння було дрібніше з масою 1000 насінин 0,86 г. Найнижчою вона була за внесення $N_{200}P_{80}K_{120}$ та $N_{200}P_{80}K_{160}$, де становила 755 г/л та 750 г/л з масою 1000 насінин 0,90 та 0,91 г відповідно.

9. Застосування мінерального удобрення негативно впливало на вміст крохмалю. Найвищий був вміст крохмалю на варіанті без добрив (67,4 %). За внесення $N_{200}P_{80}K_{120}$ та $N_{200}P_{80}K_{160}$ частка крохмалю в зерні, в середньому за три роки, зменшувалася до 64,8 %.

10. Всі сорти амаранту мали найвищий вміст лінолевої кислоти (40,2-51,8 %), олеїнової (25,6-37,1 %) та пальмітинової (17,6-19,2 %). Серед сортів вищий вміст лінолевої кислоти був у сортів Ацтек (51,8 %), Ультра (49,6 %) та Лера (47,1 %), що більше порівняно з іншими сортами на 7-11 %. Найбільшим вмістом олеїнової кислоти характеризувались сорти Харківський 1 (37,1 %) , Студентський (36,7 %) та Сем (35,8 %), переважаючи інші сорти на 9-11 %. Вміст пальмітинової кислоти був значно нижчий, ніж лінолевої та олеїнової, і кількість цієї кислоти мало залежала від сорту, коливаючись у невеликому діапазоні (17,6-19,2 %). Вміст ліноленової кислоти був низьким, у межах 0,4 % у сорту Ацтек до 1,3 % у сортів Харківський 1 та Студентський. Також виявлено невелику кількість арахідонової та ейкозенової кислот.

11. За результатами досліджень встановлено, що амарант характеризується високим виношенням з ґрунту радіонуклідів та важких металів з урожаєм. Найвищий коефіцієнт накопичення, у зерні амаранту, спостерігався

по Th_{232} , який складав 1,33. Серед важких металів найвищим коефіцієнтом накопичення у зерні – Cu (4,9).

За матеріалами даного розділу автором опубліковано наукові праці [204, 562, 566].

РОЗДІЛ 8

ВСТАНОВЛЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВЕГЕТАТИВНОЇ МАСИ АМАРАНТУ НА СИДЕРАТ

Для використання зеленої маси на добрива найбільше підходять дві групи культур: зернобобові - зелена маса яких багата поживними речовинами, а особливо, азотом; і хрестоцвіті (капустяні), для яких характерний швидкий ріст і висока урожайність зеленої маси.

На зелені добрива також використовують фацелію, гречку, суданську траву, амарант тощо [166, 218, 398, 405, 586].

На наш погляд амарант є дуже перспективним для вирощування на зелене добриво. Він займає невеликі посівні площі для використання на зерно, і майже не вирощується на зелену масу. Цінність цієї важливої культури полягає в тому, що амарант не потребує великої кількості вологи для проростання та під час вегетації. Амарант має швидкі темпи розвитку, через півтора місяця зацвітає, формує орієнтовно 40 т/га вегетативної маси, багатої на азот. Завдяки особливій, змішаного типу, кореневій системі амарант є чудовим розпушувачем переущільненого ґрунту. Має найменшу норму висіву серед сидеральних культур. За даними табл. 8.1, амарант переважає щодо надходження елементів живлення, інші культури, які вирощуються на зелене добриво.

Як видно, із зеленою масою рослин у ґрунт повертається значна частина поживних речовин. Розрахунки орієнтовні узагальнені, тому що урожайність та вміст елементів живлення у зеленій масі можуть сильно коливатись залежно від технології вирощування, метеорологічних умов та строків сівби.

Амарант на родючих ґрунтах можна вирощувати без добрив. Завдяки розгалуженій та глибокій кореневій системі він у достатній кількості забезпечує себе макро- та мікроелементами. Його можна використовувати в суміші покривних культур, оскільки він збагачує азотом і зменшує вміст солей у ґрунті [154, 167, 220].

Орієнтовна кількість поживних речовин у зеленій масі різних культур за весняної сівби і приорювання за укісної стиглості (за розрахунками М. Тирусь).

Культура	Урожайність зеленої маси, ц/га	Накопичено в загальній біомасі поживних речовин, кг/га			Разом поживних речовин, кг/га
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Горох кормовий	350	150	100	150	400
Вика яра	300	120	60	180	360
Кормові боби	350	130	70	140	340
Люпин однорічний	260	140	60	140	340
Гірчиця біла	250	80	40	90	210
Суріпиця	250	100	40	90	230
Редька олійна	400	140	70	200	410
Фацелія	300	80	50	200	330
Гречка	300	100	65	150	315
Амарант	500	220	40	400	660

8.1 Формування продуктивності зеленої маси залежно від сортових особливостей амаранту

Завданням наших досліджень передбачалось вивчення структури врожаю сортів амаранту. Зелена маса не використовувалась для годівлі с.-г тварин, а її призначення було – сидерація. На основі урожайності зеленої маси та вмісту елементів живлення в амаранті необхідно було встановити кількість азоту, фосфору та калію що повертаються в ґрунт і цінність амаранту для використання на зелене добриво.

Досліджувані сорти амаранту відрізнялись за висотою рослин, цей показник змінювався від 162 см до 228 см. Найменшим був сорт Ультра, а найвищим сорт Харківський 1 (табл. 8.2).

Таблиця 8.2

Елементи структури врожаю сортів амаранту, середнє за 2019-2021 рр.*

Сорт	Висота рослини, см	Вага однієї рослини, г	Кількість рослин на час заорювання, шт/м ²	Урожайність зеленої маси, кг/м ²
Ультра (контроль)	162	267	18	4,8
Студентський	195	355	20	7,1
Харківський 1	228	419	21	8,8
Лєра	204	385	20	7,7
Ацтек	174	279	19	5,3
Сем	198	411	18	7,4

*На фоні удобрення N₂₀₀P₈₀K₁₂₀

За результатами кореляційно – регресійного аналізу встановлено чітку позитивну залежність між кількістю рослин на квадратний метр та висотою рослин сортів амаранту (рис. 8.1). При збільшенні густоти посіву з 17,5 до 21,5 рослин/м² висота рослин суттєво зростає (приблизно на 15,9 см на кожну додаткову одиницю густоти згідно з коефіцієнтом регресії). Це може пояснюватися конкуренцією рослин за світло, що стимулює їх витягування вгору

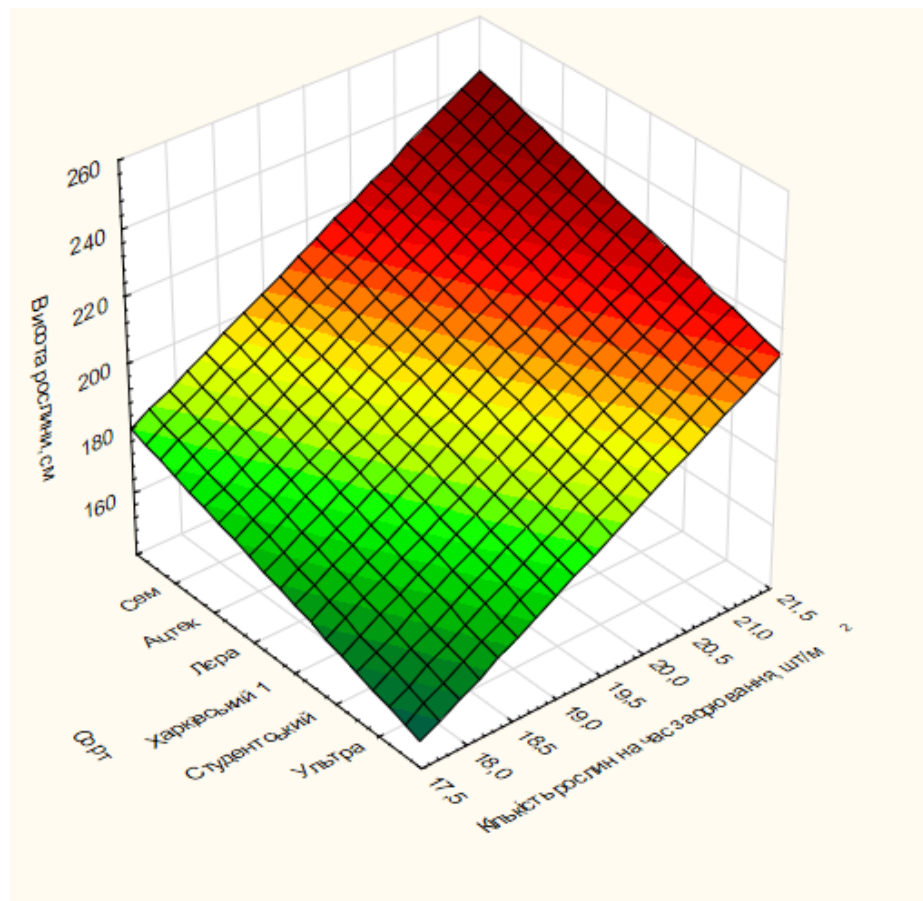


Рис. 8.1. Просторова 3Д модель регресії сортових особливостей і густоти рослин на висоту рослини амаранту.

Дану залежність достовірно описують рівняння регресії:

$$Y = -578,5174 + 15,9491 X_1 + 4,4799 X_2;$$

де Y - висота рослини, см;

X_1 - кількість рослин на час заорювання, шт/м²;

X_2 – сорт;

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,72$

Різні сорти амаранту вірізнялися за висотою рослин за однакової густоти посіву. Відповідно до рівняння регресії зміна сорту впливає на збільшення висоти рослини з коефіцієнтом 4,48 см. 3Д модель регресії демонструє, що сорти Сем і Ацтек показали більшу висоту рослин порівняно із сортами Харківський 1 і Ультра відповідно, за однакової густоти посіву. Коефіцієнт детермінації ($R^2 = 0,72$) показує, що 72 % варіації висоти рослин можна пояснити впливом цих двох

факторів. Множинний коефіцієнт кореляції $R = 0,85$ показує сильний зв'язок між досліджуваними факторами. Максимальна висота рослин (близько 260 см) досягнеться за максимальної густоти посіву та використання сортів з верхньої частини шкали.

Вага рослини теж коливалась у значному діапазоні, від 267 г до 419 г. Кількість рослин на м^2 варіювала в межах 18-21 шт/ м^2 . Площина регресії демонструє чітку позитивну кореляцію між змінними: вага рослини збільшується зі збільшенням висоти рослини, і змінюється із сортом (рис. 8.2).

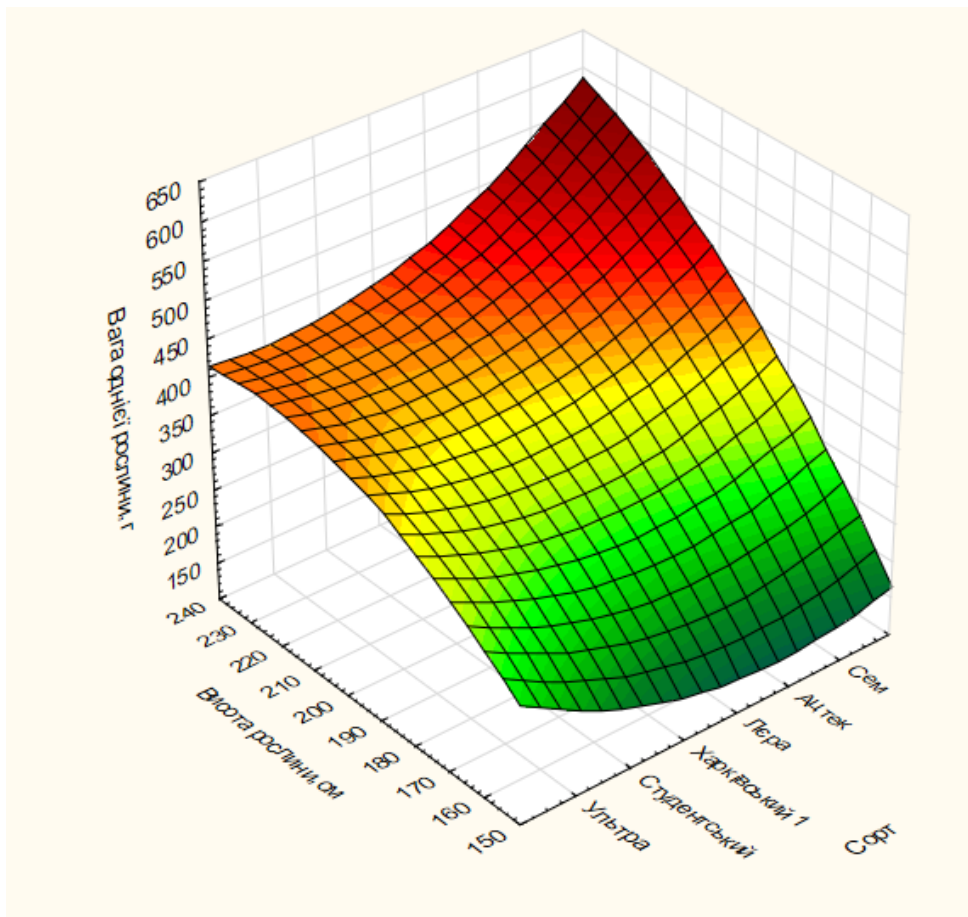


Рис. 8.2. Просторова 3Д модель регресії сортових особливостей і висоти рослини (см) на вагу рослини (г) амаранту.

Дану залежність достовірно описують рівняння регресії:

$$Y = -798,2152 + 6,4525 X_1 + 2,4964 X_2;$$

де Y - вага однієї рослини, г;

X_1 – сорт;

X_2 – висота рослини, см.

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,88$

Коефіцієнт множинної кореляції $R = 0,94$, що демонструє сильний зв'язок між факторами та вагою рослини амаранту.

За результатами кореляційного аналізу, урожайність надземної біомаси мала прямий кореляційний зв'язок з висотою рослин, $r = 0,99$.

Урожайність зеленої маси амаранту залежно від сортових особливостей

Потенціал урожайності біомаси амаранту знаходиться в межах від 100 до 250 т/га. Найбільш інтенсивний приріст зеленої маси та накопичення сухої речовини в амаранті відбувається у фазі «кінець гілкування-викидання волоті». З початком фази цвітіння і впродовж всієї фази молочної стиглості, яка триває 30 днів, настає період повільного росту. Вміст сухої речовини у надземній масі амаранту у фазі цвітіння становив 22,5 %. Вміст фосфору 0,27 %, калію - 5,02 % [20, 25, 73, 213, 223].

Високі норми мінеральних добрив, особливо азотних, забезпечували добрий стартовий ріст і інтенсивне наростання біомаси амаранту, внаслідок чого одержали високу врожайність досліджуваних сортів (табл. 8.3).

Таблиця 8.3

Урожайність зеленої маси амаранту залежно від сорту, т/га

Сорти	Роки			Середнє за роки	Приріст урожаю	
	2019	2020	2021		т/га	%
Ультра (контроль)	46	51	47	48	-	-
Студентський	69	74	70	71	23	47,9
Харківський 1	86	92	86	88	40	83,3
Лєра	74	81	76	77	29	60,4
Ацтек	51	55	53	53	5	10,4
Сем	71	78	73	74	26	54,2
НІР _{0,5} т/га	1,0	1,1	1,5			

Необхідно зазначити, що урожайність маси амаранту могла бути значно вищою за умови більш тривалої вегетації культури. Урожайність зеленої маси була найменшою (48 т/га) у низькорослого сорту Ультра, і лише на 5 т/га була вища врожайність сорту Адтек. Решта сортів формували значно більшу біомасу. Так, у сортів Студентський, Сем та Лера урожайність була, відповідно 71, 74, 77 т/га, що більше порівняно з сортом Ультра на 23, 26, 29 т/га. Найвищу врожайність (88 т/га) у середньому за три роки формував високорослий сорт Харківський 1. Порівняно з сортом Ультра урожайність у нього зросла на 40 т/га, або на 83,3 %.

Площина регресії (рис. 8.3) демонструє найбільший вплив ваги рослини за середніх та вищих значеннях висоти рослин.

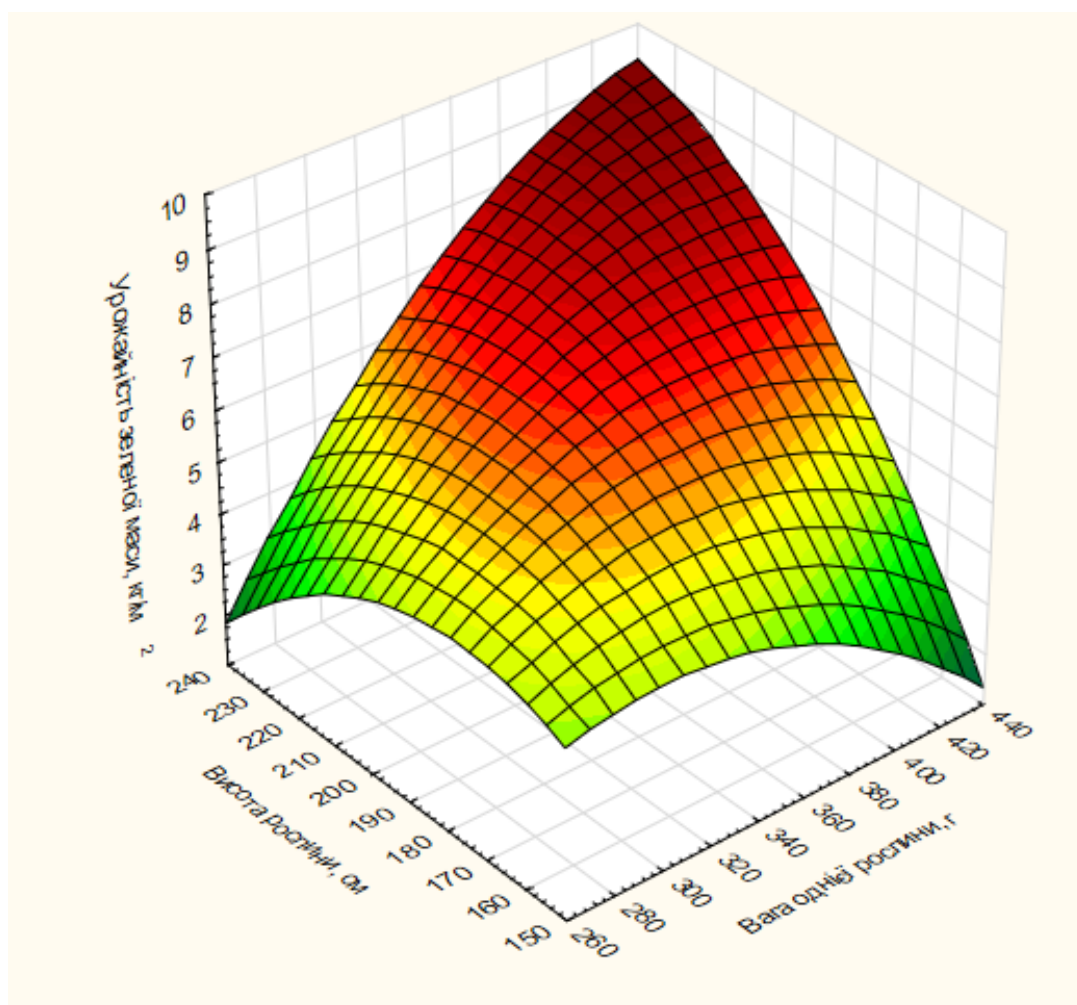


Рис. 8.3. Просторова 3Д модель регресії елементів структури врожайності і урожайності зеленої маси (кг/м²) амаранту.

Дану залежність достовірно описують рівняння регресії:

$$Y = -4,4315 + 0,0079X_1 + 0,0439X_2;$$

де Y - урожайність зеленої маси, $\text{кг}/\text{м}^2$;

X_1 - вага однієї рослини, г;

X_2 – висота рослини, см.

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,99$.

Висота рослин мала суттєвіший вплив на урожайність у порівнянні з вагою рослин. Кожні додаткові 10 см висоти рослини збільшують урожайність приблизно на $0,439 \text{ кг}/\text{м}^2$. При збільшенні висоти рослини від 150 до 240 см (за однакової ваги) урожайність зеленої маси значно збільшується. Найбільший вплив висоти рослин на урожайність зеленої маси амаранту спостерігається у середніх та верхніх значень ваги рослини. За рівнем регресії спостерігається від приросту ваги однієї рослини на 100 г приріст урожайності приблизно на $0,79 \text{ кг}/\text{м}^2$. При збільшенні ваги рослини від 280 до 420 г (за однакової висоти) урожайність зеленої маси збільшується.

Форма площини вказує на нелінійний характер співвідношення: приріст урожайності прискорюється при одночасному збільшенні обох параметрів. Спостерігається синергетичний ефект: урожайність ($9\text{-}10 \text{ кг}/\text{м}^2$) досягається при поєднанні максимальних показників висоти (230-240 см) і ваги рослини (400-420 г). За низьких значеннях обох параметрів (висота близько 150 см і вага близько 280 г) урожайність мінімальна ($2\text{-}3 \text{ кг}/\text{м}^2$).

Надзвичайно високий коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,99$ свідчить про високу достовірність рівняння, та що модель на 99 % пояснює варіації урожайності зеленої маси амаранту. Це підтверджує, що висота і вага рослини є визначальними факторами урожайності зеленої маси.

За результатами проведених досліджень встановлено реакцію досліджуваних сортів на погодні умови в роки досліджень. Найвищу врожайність зеленої маси одержали у 2020 році, що пояснюється більшою кількістю опадів і сприятливим температурним режимом. Найменша

врожайність 2019 році пояснюється зменшенням кількості опадів, порівняно з наступними роками.

За результатами кореляційно – регресійного аналізу можемо зазначити, що кожен досліджуваний сорт мав індивідуальну реакцію на температурний режим. Зокрема між сортами Ультра, Студентський, Лєра і Сем та рівнем температури повітря встановлено помітний зворотний зв'язок, коефіцієнт кореляції становив $r = -0,32 - 0,40$. Значно слабше впливав температурний режим на формування урожайності зеленої маси у сорту Харківський 1, коефіцієнт кореляції становив $r = -0,13$, тоді як у сорту Ацтек зв'язок був помірно високий - $r = -0,61$. Встановлено вельми високий прямий вплив кількості опадів у роки досліджень на формування урожайності зеленої маси сортами амаранту, коефіцієнт кореляції становив $r = 0,96 - 0,99$ залежно від сорту.

Вміст вологи у зеленій масі сортів амаранту у фазі цвітіння був на рівні 78 %. Урожайність сухої маси подано в табл. 8.4.

Таблиця 8.4

Урожайність сухої маси сортів амаранту, середнє за 2019-2021 рр.

Сорт	Урожайність, т/га	Приріст	
		т/га	%
Ультра (контроль)	10,6	-	-
Студентський	15,6	5,0	47,2
Харківський 1	19,4	8,8	83,0
Лєра	16,9	6,3	59,4
Ацтек	11,7	1,1	10,4
Сем	16,3	5,7	53,8

Вміст основних елементів живлення в зеленій масі сортів амаранту

Аналіз зеленої маси сортів амаранту показав що є значні відмінності залежно від сорту. Вміст азоту коливався в межах 1,25-2,58 %, фосфору – 0,51-1,04 %, калію – 3,85- 4,86 %. Найбільшим вмістом елементів живлення характеризувався сорт Студентський – 8,48 % (табл. 8.5).

Вміст елементів живлення в сортах амаранту, % на абсолютно суху речовину

Сорти	Елементи			Разом NPK	Приріст	
	N	P	K		% на а. с. р.	%
Ультра (контроль)	1,37	0,57	4,38	6,32	-	-
Студентський	2,58	1,04	4,86	8,48	2,16	34,2
Харківський 1	2,17	0,75	4,53	7,45	1,13	17,9
Лера	1,53	0,90	4,84	7,27	0,95	15,0
Ацтек	1,25	0,51	3,85	5,61	-0,71	-11,2
Сем	1,62	0,70	4,43	6,75	0,43	6,8

Просторова 3D модель регресії (рис. 8.4) демонструє залежність вмісту азоту, фосфору та калію в зеленій масі амаранту від сортових особливостей та густоти рослин.

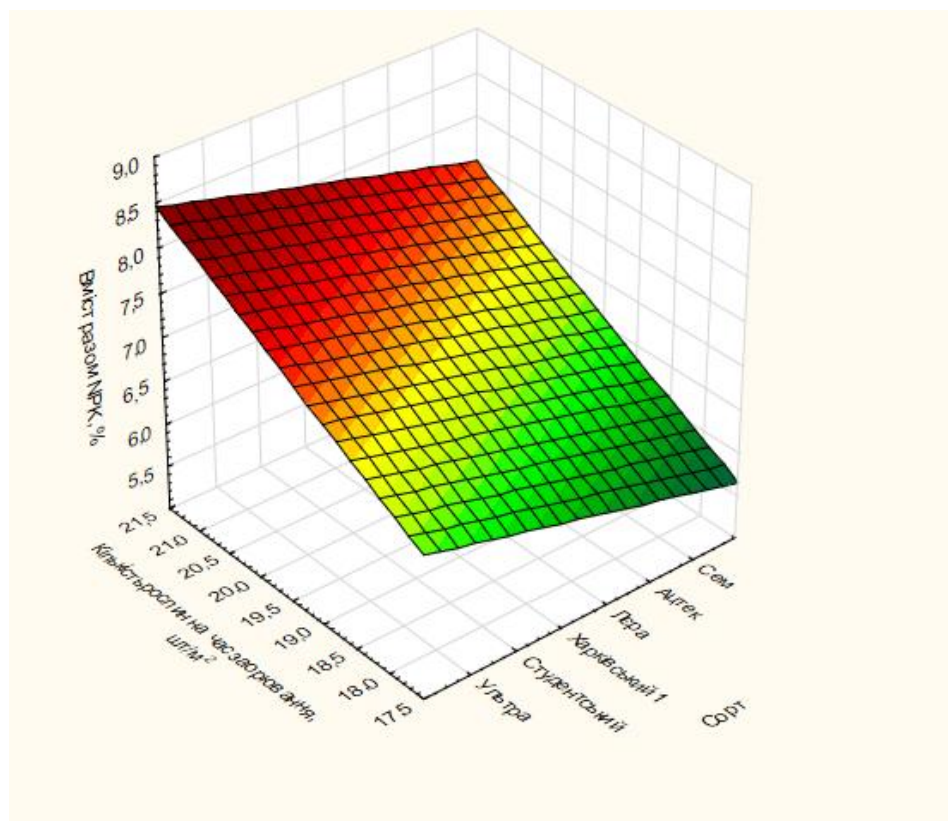


Рис. 8.4. Просторова 3Д модель регресії сортових особливостей, густоти рослин і вмісту NPK в зеленій масі амаранту, %.

Дану залежність достовірно описують рівняння регресії:

$$Y = 12,4021 - 0,1376 X_1 + 0,4561 X_2 ;$$

де Y - вміст разом nrk , %;

X_1 – сорт;

X_2 – кількість рослин на час заорювання, шт/м².

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,43$

Найвищий вміст nrk (8,5-9,0 %) забезпечується за найнижчої густоти рослин (близько 17,5-18,0 шт/м²). Зі збільшенням густоти рослин вміст nrk знижується. Також помітна різниця між сортами – високорослі сорти мають вищий вміст nrk .

За результатами регресійного аналізу встановлено, що вміст азоту збільшується з підвищенням густоти рослин (більше рослин на м²) (рис. 8.5).

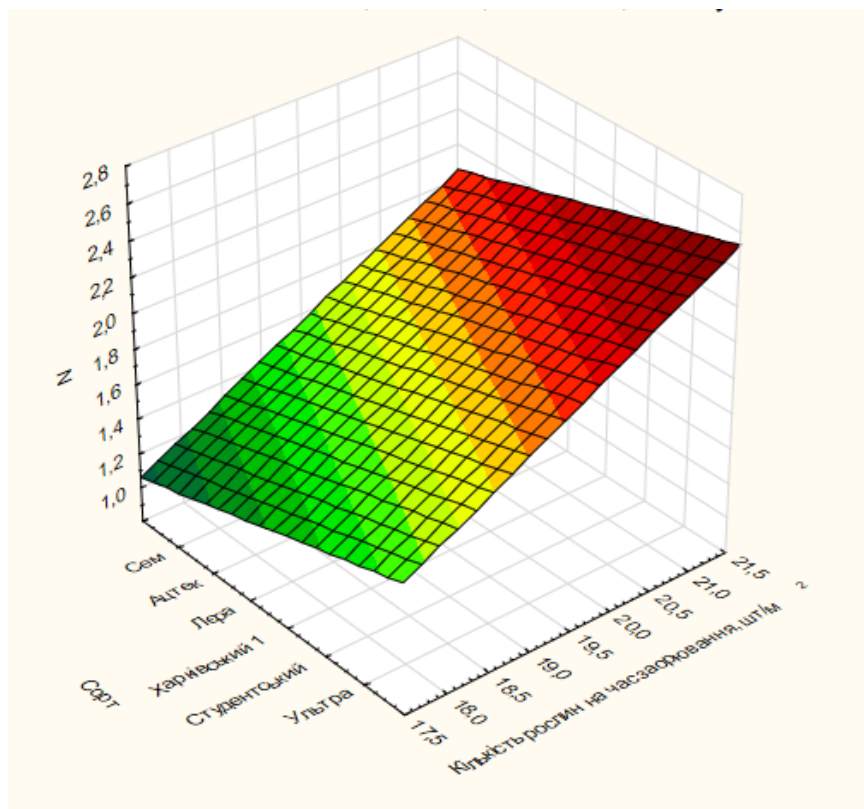


Рис. 8.5. Просторова 3Д модель регресії сортових особливостей, густоти рослин і вмісту азоту в зеленій масі амаранту, %.

Дану залежність достовірно описують рівняння регресії:

$$Y = 4,0282 + 0,2477 X_1 - 0,0683 X_2;$$

де Y - вміст азоту, %;

X_1 - кількість рослин на час заорювання, шт/м²;

X_2 – сорт.

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,45$

Сортові відмінності амаранту також суттєво впливають на вміст азоту: низькорослі сорти Ультра і Ацтек мають нижчий вміст азоту. Позитивний коефіцієнт густоти рослин вказує на збільшення вмісту азоту при збільшенні густоти посіву. Негативний коефіцієнт при змінній сорту свідчить про зниження вмісту азоту при переході між сортами.

Просторова 3D модель регресії (рис. 8.6) демонструє взаємозв'язок між сортовими особливостями амаранту, густотою рослин та вмістом фосфору (P) в зеленій масі амаранту.

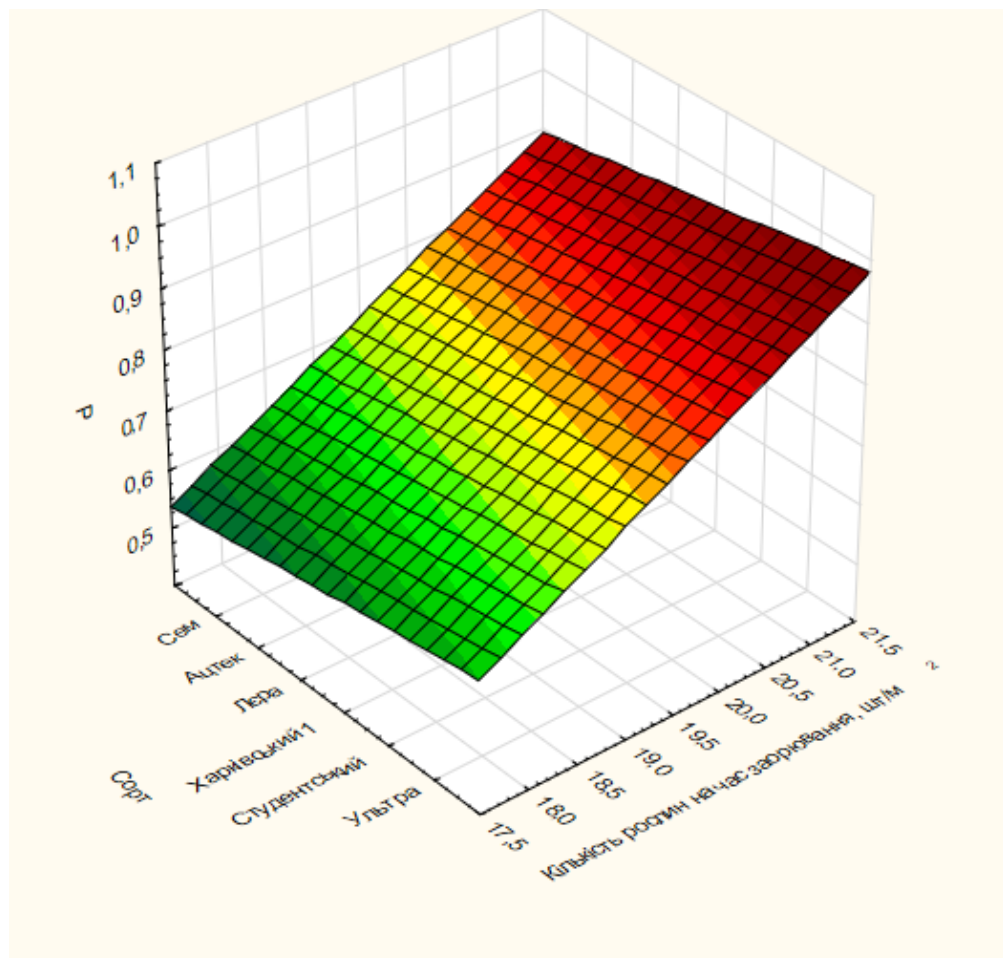


Рис. 8.6. Просторова 3Д модель регресії сортових особливостей, густоти рослин і вмісту фосфору в зеленій масі амаранту, %.

Дану залежність достовірно описують рівняння регресії:

$$Y = 0,2966 + 0,0894 X_1 - 0,0124 X_2;$$

де Y - вміст фосфору, %

X_1 - кількість рослин на час заорювання, шт/м²;

X_2 – сорт.

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,33$

Вміст фосфору збільшується з підвищенням густоти рослин. Найвищий вміст фосфору спостерігається при максимальній густоті рослин і високорослих сортів. Позитивний коефіцієнт при змінній густоти рослин вказує на збільшення вмісту фосфору з підвищенням густоти посіву. Негативний коефіцієнт сорту підтверджує зниження вмісту фосфору при переході від низькорослих до високорослих сортів у представленому ряді. Статистичні показники коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,33$ і множинний коефіцієнт кореляції $R = 0,57$ вказують на помірний зв'язок між досліджуваними факторами та вмістом фосфору у зеленій масі амаранту.

За даними Kachiguma і ін., вміст калію у зерні становив 267,8-473,6 мг/100 г, а у вегетативній масі - 1320-1677 мг/100 г, при цьому вміст білку в зеленій масі складав 13,4-23,3 % [382]. Виявлено, що у *Amaranthus caudatus* найвищий вміст фосфору (0,60 %) спостерігався перед цвітінням, знижуючись до 0,48 % у фазі цвітіння, тоді як вміст калію зростав з 7,9 % перед цвітінням до 8,5 % у фазі цвітіння [20, 223, 236]. Максимальний вміст білку в біомасі припадає на 80-90-й день вирощування [20, 223, 472, 504, 506]. Встановлено різний розподіл поживних речовин у частинах рослини: зерно містило більше азоту (2,55-2,58 %) та менше калію (1,12-1,15 %), надземна маса характеризувалася меншим вмістом азоту (1,70-1,72 %) але більшим вмістом калію (2,35-2,36 %) [20, 223]. Ряд дослідників відзначають високий вміст калію та фосфору в амаранті [20, 25, 223, 382], та підкреслюють цінність амаранту як джерела

біомаси через його високу врожайність навіть за несприятливих умов [73, 94, 205, 472].

Просторова 3D модель регресії (рис.8.7) відображає взаємозв'язок між сортовими особливостями амаранту, густотою рослин та вмістом калію (К) в зеленій масі амаранту.

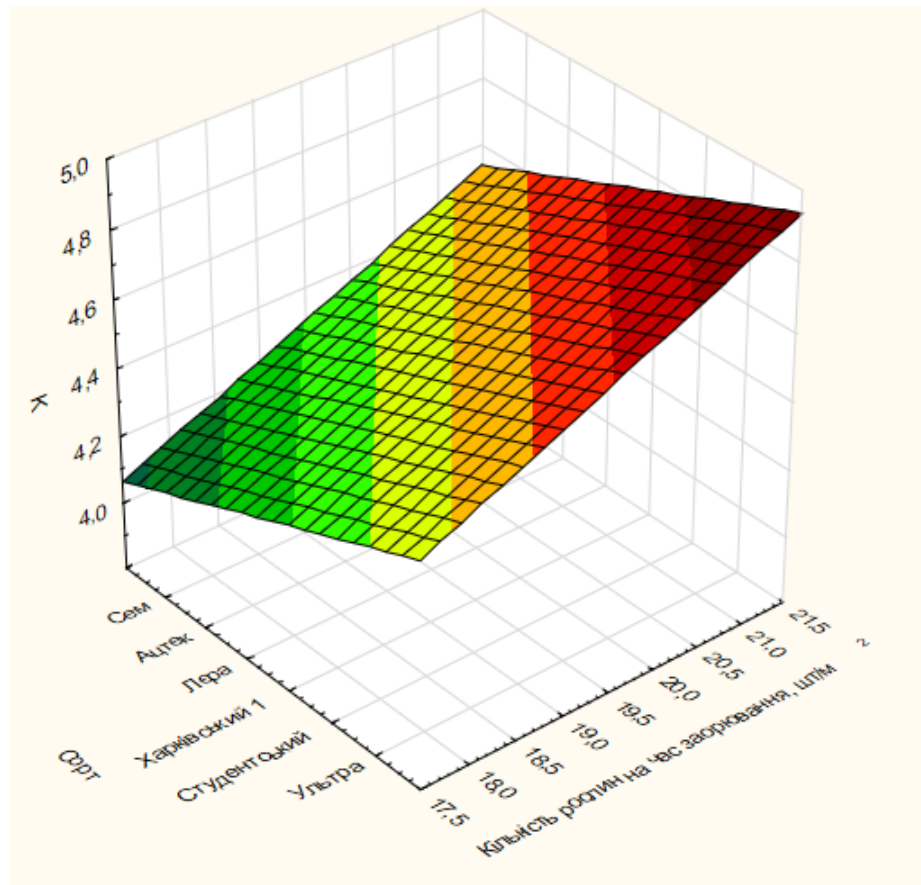


Рис. 8.7. Просторова 3Д модель регресії сортових особливостей, густоти рослин і вмісту калію в зеленій масі амаранту, %.

Дане рівняння підтверджує тенденції, що спостерігаються на графіку:

$$Y = 8,0773 + 0,119 X_1 - 0,057 X_2;$$

де Y - вміст калію, %;

X_1 - кількість рослин на час заорювання, шт/м²;

X_2 – сорт.

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,28$.

Вміст калію зростає зі збільшенням густоти рослин (більша кількість рослин на м²) і спостерігається тенденція до зниження вмісту калію при переході між сортами. Найвищі показники вмісту калію спостерігаються при максимальній густоті посіву для високорослих сортів. Позитивний коефіцієнт при змінній густоті рослин вказує на збільшення вмісту калію зі збільшенням густоти посіву. Негативний коефіцієнт при змінній сорту підтверджує зниження вмісту калію при переході між сортами. Статистичний показник коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,28$ вказує на відносно слабкий зв'язок між досліджуваними факторами та вмістом калію порівняно з моделями для азоту та фосфору. Модель пояснює лише 28 % варіації вмісту калію в зеленій масі амаранту, що говорить про наявність інших факторів, не врахованих у моделі, які також впливають на цей показник.

Використання зеленої маси амаранту в якості сидератів дозволяє підвищувати родючість ґрунту внаслідок повернення в ґрунт значної кількості NPK (табл. 8.5). Так, в ґрунт повертається від 145,2 до 421,0 кг азоту, 59,7-162,2 кг фосфору та 450,4-939,1 кг калію. Найбільша (1505,6 кг) кількість NPK надходила в ґрунт з вегетативною масою сорту амаранту Харківський 1 (табл. 8.6).

Таблиця 8.6

Повернення (надходження) елементів живлення в ґрунт з зеленою масою амаранту, кг/га

Сорти	Елементи			Разом NPK	Приріст	
	N	P	K		кг/га	%
Ультра (контроль)	145,2	60,4	464,4	670,0	-	-
Студентський	402,5	162,2	758,2	1322,9	653	97,4
Харківський 1	421,0	145,5	939,1	1505,6	836	124,7
Лера	258,6	152,1	818,0	1228,7	559	83,4
Ацтек	146,2	59,7	450,4	656,3	-14	-2,0
Сем	264,1	114,1	722,1	1100,3	430	64,2

8.2 Вплив рівнів удобрення на урожайність вегетативної маси сортів амаранту

Впродовж 2021 – 2023 рр проводили дослідження з встановлення впливу рівнів удобрення на формування урожайності зеленої маси сортів амаранту в умовах Лісостепу західного. Встановлено, що амарант в умовах достатнього зволоження за внесення норми добрив $N_{200}P_{80}K_{120}$ формував високі, добре облиствені рослини. Залежно від рівня удобрення, сорти амаранту відрізнялись за висотою рослин, цей показник змінювався від 144 см до 155 см на контрольному варіанті без мінерального удобрення, і від 168 до 225 см за норми добрив $N_{200}P_{80}K_{120}$ (табл. 8.7).

Таблиця 8.7

Елементи структури врожаю амаранту, середнє за 2021-2023 рр.

Фон	Сорт	Висота рослини, см	Вага однієї рослини, г	Кількість рослин на час заорювання, шт/м ²
Контроль	Студентський	144	139	22
	Харківський 1	155	162	23
	Лера	153	164	23
	Поліщук	116	115	25
$N_{200}P_{80}K_{120}$	Студентський	190	340	20
	Харківський 1	225	390	21
	Лера	200	370	20
	Поліщук	168	206	24

За результатами кореляційно-регресійного аналізу відмічено сильний вплив фону удобрення на висоту рослин ($r = 0,83$) та встановлено сильний зворотний зв'язок між висотою та кількістю рослин ($r = - 0,79$).

Просторова 3D модель регресії (рис.8.8) демонструє, що висота рослин значно збільшується із застосуванням мінерального удобрення і спостерігається чітка тенденція до зниження висоти рослин при переході між сортами. Найвищі

рослини спостерігаються при максимальному рівні удобрення у високорослих сортів.

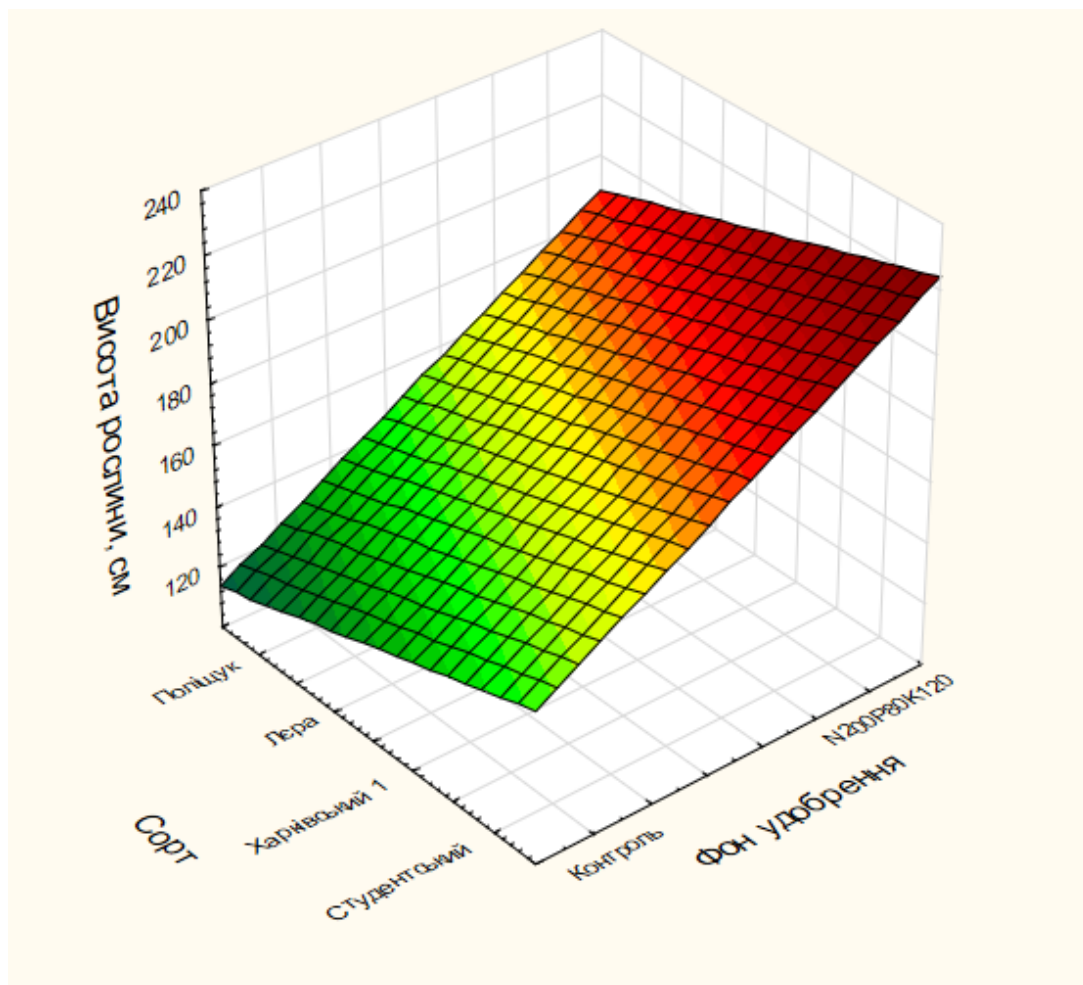


Рис. 8.8. Просторова 3Д модель регресії сортових особливостей, рівня удобрення і висоти рослин амаранту.

Дане рівняння підтверджує тенденції, що спостерігаються на графіку:

$$Y = -4379,625 + 53,75 X_1 - 8,85 X_2;$$

де Y - висота рослини, см;

X_1 - фон удобрення;

X_2 – сорт.

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,78$.

Позитивний коефіцієнт при змінній «Фон удобрення» вказує на суттєве підвищення висоти рослин зі збільшення рівня внесених добрив. Негативний

коефіцієнт при змінній «Сорт» підтверджує зниження висоти рослин при переході від сорту Студентський до сорту Поліщук. Статистичні показники, коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,78$ і множинний коефіцієнт кореляції $R = 0,88$, свідчать про сильний зв'язок між досліджуваними факторами та висотою рослин амаранту. Модель пояснює 78 % варіації висоти рослин, що вказує на те, що сортові особливості та рівень удобрення є ключовими факторами.

Вага рослини теж коливалась у значному діапазоні, від 115 г до 390 г залежно від фону удобрення (рис. 8.9).

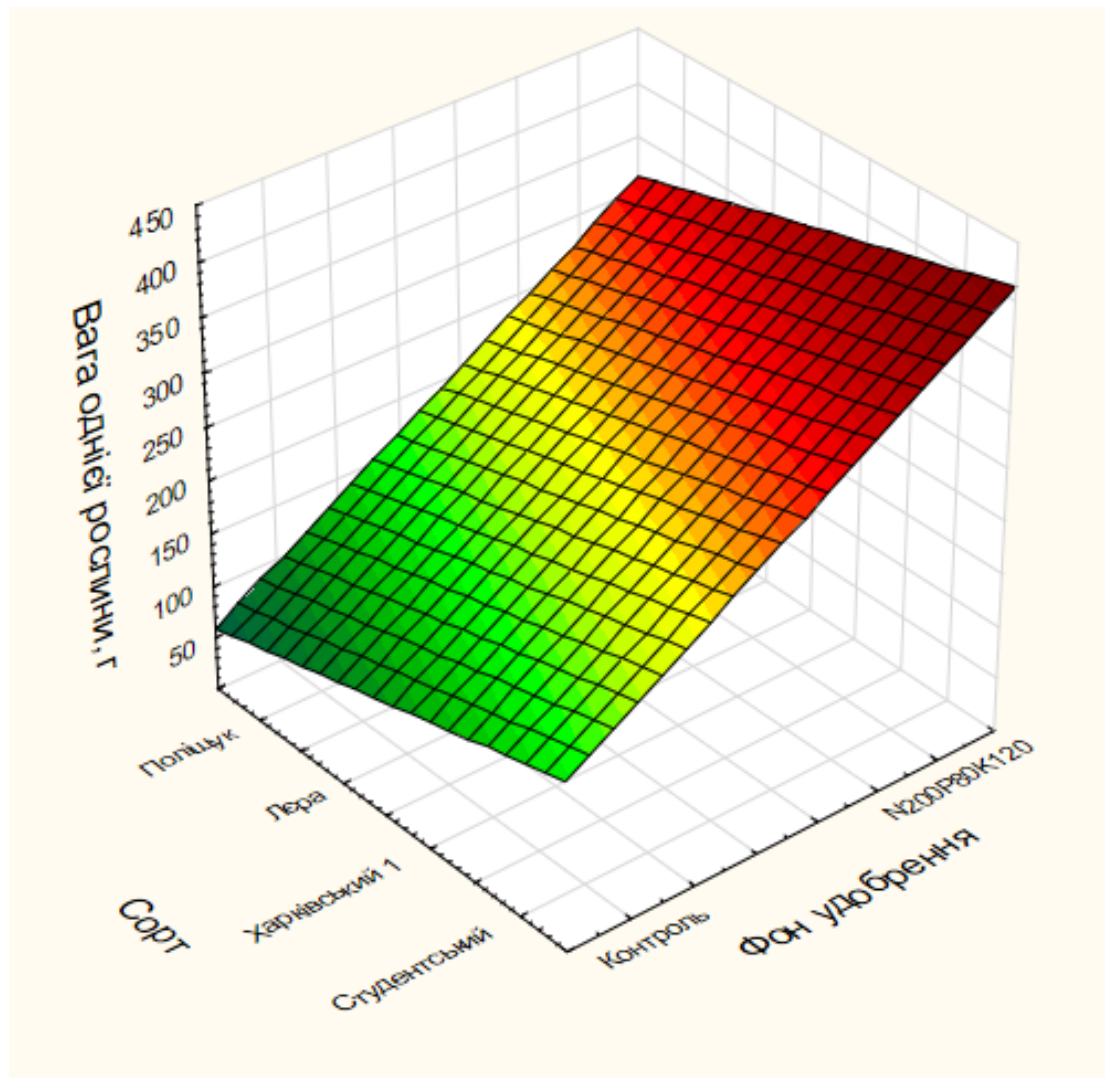


Рис. 8.9. Просторова 3Д модель регресії сортових особливостей, рівня удобрення і ваги рослини амаранту.

Рівняння регресії чітко відображає виявлені тенденції:

$$Y = -15665 + 181,5 X_1 - 24,6 X_2;$$

де Y - вага однієї рослини, г;

X_1 - фон удобрення;

X_2 – сорт.

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,82$.

Застосування мінерального удобрення забезпечило приріст ваги рослини у 1,8 – 2,4 рази. Відмічено сильний вплив на вагу рослин фону удобрення ($r = 0,86$) та висоти рослин ($r = 0,96$). Із збільшенням кількості рослин на дослідній ділянці вага рослин зменшувалася, що підтверджує результат статистичного аналізу ($r = -0,83$). Просторова 3D модель регресії демонструє взаємозв'язок між сортовими особливостями амаранту, рівнем удобрення та вагою однієї рослини.

Вага рослин суттєво збільшується з використанням рівня мінерального удобрення. Спостерігається виразна тенденція до зниження ваги рослин при переході між сортами.

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,82$ і множинний коефіцієнт кореляції $R = 0,90$ свідчать про дуже сильний зв'язок між досліджуваними факторами та вагою рослин амаранту. Модель пояснює 82 % варіації ваги рослин, що є дуже високим показником і вказує на те, що сортові особливості та рівень удобрення є визначальними факторами формування біомаси рослин амаранту.

Густота рослин на дослідних ділянках залежала від сорту ($r = 0,65$). Найбільшу кількість рослин на м^2 формував сорт Поліщук: на контролі – 25 шт/ м^2 , за норми $\text{N}_{200}\text{P}_{80}\text{K}_{120}$ – 24 шт/ м^2 . Кількість рослин зменшувалася за удобрення $\text{N}_{200}\text{P}_{80}\text{K}_{120}$ у всіх досліджуваних сортів, встановлено середній зворотний зв'язок ($r = -0,58$). Просторова 3D модель регресії демонструє взаємозв'язок між сортовими особливостями амаранту, рівнем удобрення та кількістю рослин на час заорювання (рис. 8.10). Кількість рослин на час заорювання зменшується з підвищенням рівня удобрення. Найбільша кількість рослин спостерігається контрольного варіанту.

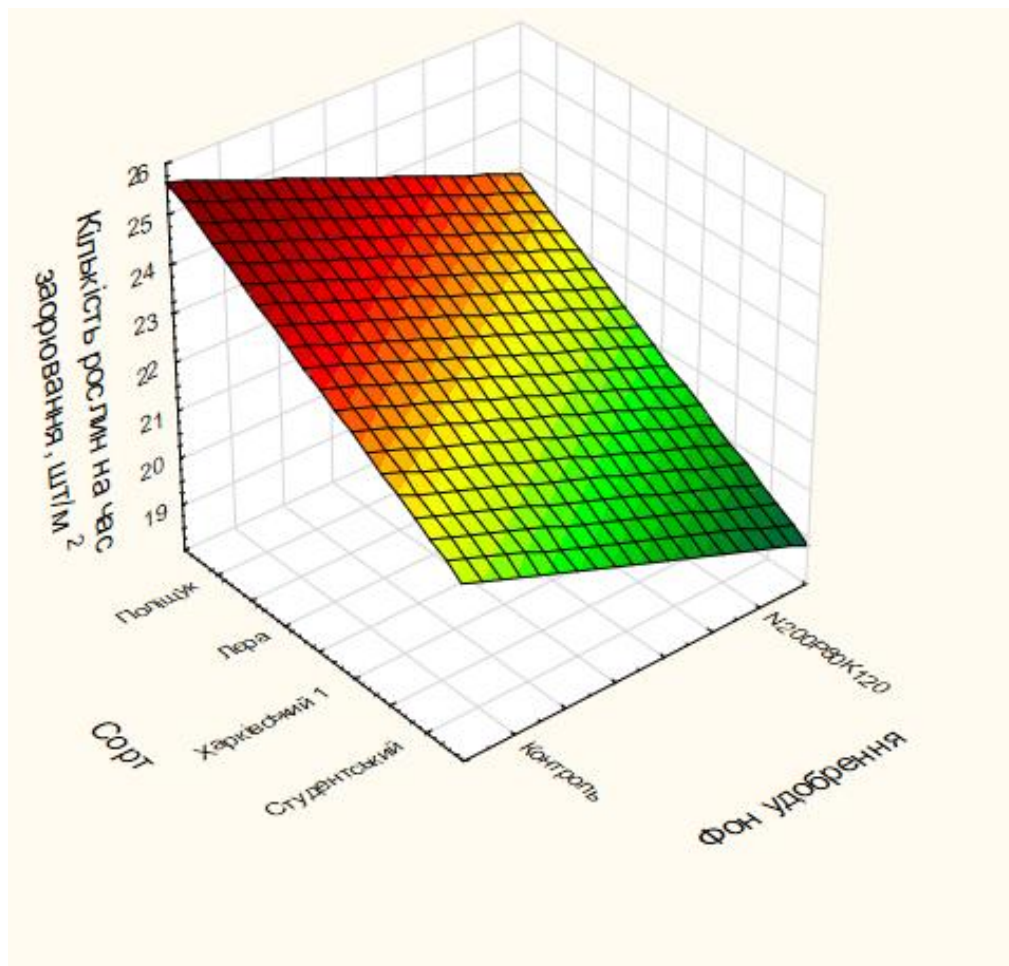


Рис. 8.10. Просторова 3Д модель регресії сортових особливостей, рівня удобрення і густоти рослин амаранту.

Це рівняння підтверджує виявлені тенденції:

$$Y = 122,75 - 2 X_1 + 1 X_2;$$

де Y - кількість рослин на час заорювання, шт/м²;

X_1 - фон удобрення;

X_2 – сорт.

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,77$.

Високі статистичні показники свідчать про сильний зв'язок між досліджуваними факторами та кількістю рослин на час заорювання. Модель пояснює 77 % варіації густоти рослин, що є високим показником.

Важливо відзначити, що на відміну від моделей для висоти та ваги рослин, де показники зростали зі збільшенням рівня удобрення, у даній моделі

спостерігається зворотна залежність. Це свідчить про те, що підвищений рівень удобрення призводить до конкуренції між рослинами амаранту за поживні речовини та простір, що зрештою призводить до зменшення їх кількості на одиницю площі внаслідок природного відбору та витіснення слабших рослин.

Формування урожайності зеленої маси амаранту залежно від рівнів удобрення

За природної родючості ґрунту врожайність досліджуваних сортів знаходилася в межах 18 – 25 т/га. Внесення мінеральних добрив, особливо азотних, забезпечували добрий стартовий ріст і інтенсивне наростання біомаси амаранту, внаслідок чого одержали високу врожайність сортів амаранту (табл. 8.8).

Таблиця 8.8

Урожайність зеленої маси амаранту залежно від сорту і рівня удобрення, т/га

Фон	Сорти	Роки			Середн є	Приріст урожаю	
		2021	2022	2023		т/га	%
Контроль	Студентський	18	23	19	20	-	-
	Харківський 1	25	27	23	25	-	-
	Лера	22	23	21	22	-	-
	Поліщук	18	20	16	18		
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₂₀	Студентський	67	72	65	68	48	240
	Харківський 1	83	89	74	82	57	228
	Лера	72	80	70	74	52	236
	Поліщук	48	52	47	49	31	172

НІР_{0,5} т/га, 2021: А - 0,73; В-1,03; АВ -1,46.

2022: А - 0,79; В-1,11; АВ -1,58.

2023: А - 1,08; В-1,52; АВ -2,16.

Приріст відносно контролю становив 172 – 240 % залежно від сорту. Вплив сортових особливостей амаранту на формування врожайності зеленої маси був дуже слабкий ($r = - 0,16$). Найвищий показник урожайності забезпечили високорослі сорти удобреного фону живлення: Студентський – 68 т/га, Лера – 74 т/га, Харківський 1 – 82 т/га. Приріст відносно контролю був в межах 228-240 % або 48-57 т/га.

За результатами кореляційно-регресійного аналізу встановлено сильний прямий вплив фону удобрення на урожайність ($r = 0,94$), висоти рослин ($r = 0,94$) і ваги рослини ($r = 0,98$). Дані закономірності достовірно описують рівняння регресії (табл. 8.9).

Таблиця 8.9

Кореляційно-регресійна залежність між урожайністю зеленої маси (кг/м²) (Y) і факторами впливу

Рівняння регресії	Показник	Коефіцієнт детермінації, %
$Y = -2,575 + 4,7000 X_1$	Фон удобрення	0,88
$Y = -7,860 + 0,07304 X_2$	Висота рослини, см	0,89
$Y = -1,060 + 0,02348 X_3$	Вага рослини, г	0,96
$Y = 28,761 - 1,091 X_2$	Кількість рослин на час заорювання, шт/м ²	0,56.

Негативний вплив на формування зеленої маси досліджуваних сортів амаранту мала кількість рослин на час заорювання. Із збільшенням густоти стояння рослин врожайність зменшувалася, про що свідчать результати кореляційно-регресійного аналізу ($r = - 0,75$) (табл. 8.9).

Необхідно зазначити, що урожайність маси амаранту могла бути значно вищою за умови більш тривалої вегетації культури, адже зелена маса приорювалась у фазі бутонізації – початок цвітіння.

Просторова 3D модель регресії (рис. 8.11) демонструє взаємозв'язок між сортовими особливостями амаранту, рівнем удобрення та урожайністю зеленої маси.

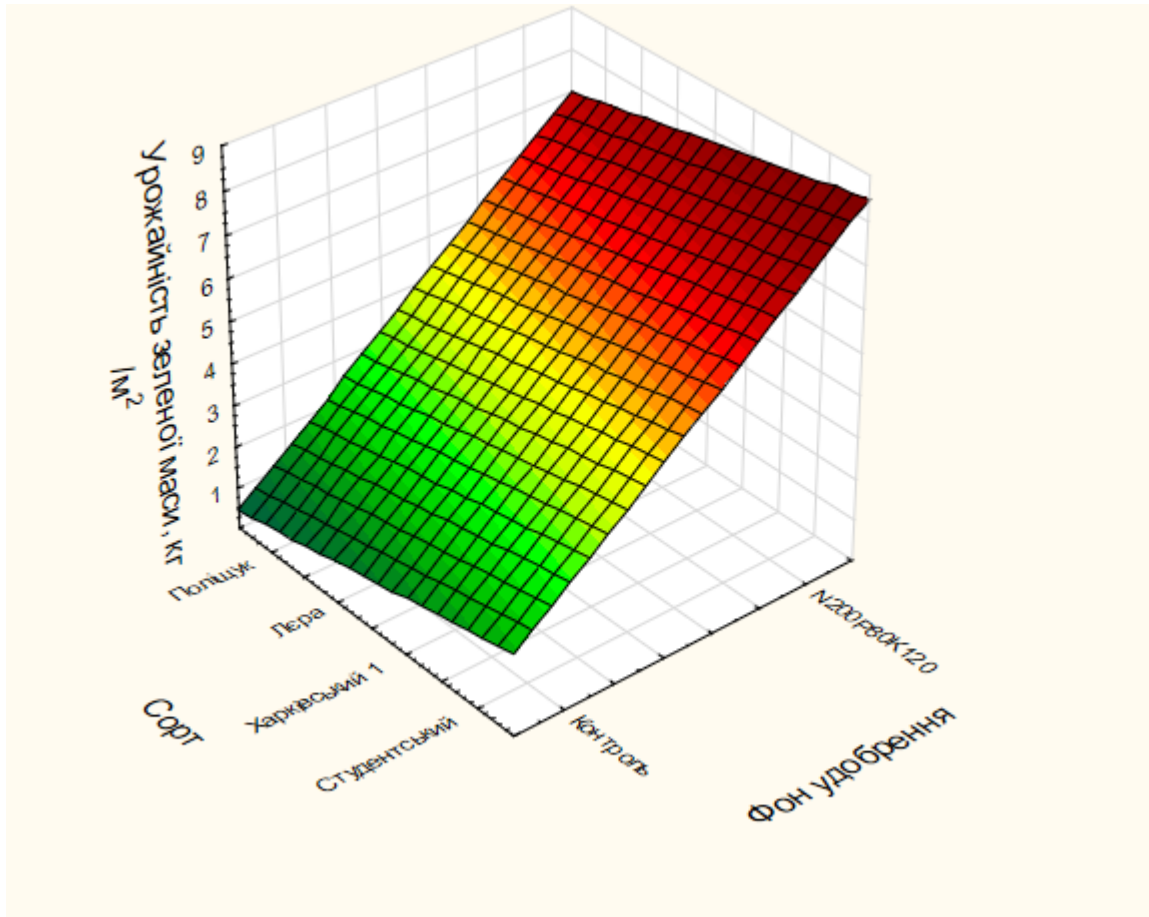


Рис. 8.11. Просторова 3Д модель регресії сортових особливостей, рівня удобрення і урожайності зеленої маси амаранту.

Це підтверджує рівняння регресії:

$$Y = -434,65 + 4,7 X_1 - 0,37 X_2 ;$$

де Y - урожайність зеленої маси, кг/м²;

X_1 - фон удобрення;

X_2 – сорт.

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,90$

Урожайність зеленої маси значно зростає з підвищенням рівня удобрення. Спостерігається тенденція до зниження урожайності при переході між сортами.

Найвища урожайність спостерігається при максимальному рівні удобрення високорослих сортів.

Надзвичайно високі статистичні показники свідчать про дуже сильний зв'язок між досліджуваними факторами та урожайністю зеленої маси амаранту. Модель пояснює 90 % варіації урожайності і вказує на те, що сортові особливості та рівень удобрення майже повністю визначають урожайність зеленої маси амаранту.

Для встановлення обсягів надходження елементів живлення в ґрунт визначаємо кількість сухої маси. Вміст вологи в біомасі по всіх сортах становив 78 %. Урожайність сухої маси подано в табл. 8.10.

Таблиця 8.10

Урожайність сухої маси амаранту, середнє за 2021-2023 рр.

Фон	Сорт	Урожайність, т/га	Приріст	
			т/га	%
Контроль	Студентський	4,4	-	-
	Харківський 1	5,5	-	-
	Лера	4,9	-	-
	Поліщук	4,0	-	-
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₂₀	Студентський	15,0	10,6	240
	Харківський 1	18,1	12,6	228
	Лера	16,3	11,5	236
	Поліщук	10,8	6,8	172

Вплив рівнів удобрення на вміст елементів живлення в вегетативній масі сортів амаранту

За результатами проведених нами досліджень у фазі бутонізація-початок цвітіння амаранту, за природної родючості ґрунту, вміст азоту коливався в межах 1,39 - 2,54 %, фосфору – 0,65 - 1,09 %, калію – 3,84 - 4,81 %. Найбільшим

вмістом елементів живлення (азоту, фосфору, калію) характеризувався сорт Студентський – 8,44 % (табл. 8.11).

Таблиця 8.11

Вміст елементів живлення в сортах амаранту, % на абсолютно суху речовину, середнє за 2021 – 2023 рр.

Фон	Сорт	Елементи			Разом NPK
		N	P	K	
Контроль	Студентський	2,54	1,09	4,81	8,44
	Харківський 1	2,18	0,81	4,67	7,66
	Лера	1,53	1,02	4,76	7,31
	Поліщук	1,39	0,65	3,84	5,88
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₂₀	Студентський	2,50	1,04	4,77	8,31
	Харківський 1	2,12	0,77	4,63	7,52
	Лера	1,50	0,98	4,73	7,21
	Поліщук	1,35	0,63	3,81	5,79

Це підтверджується результатами досліджень інших дослідників. Найбільше поживних елементів в абсолютно сухій масі амаранту містилося у фазі бутонізації, а саме: загальних форм азоту 2,3-3,2 %, фосфору 1,3-1,6 %, калію 7,1-9,2 %. У подальшому розвитку рослин вміст азоту зменшувався до 1,9-2,5 % у фазу цвітіння та 1,6-2,3 % в період молочно-воскової стиглості амаранту. Найбільшим вмістом загального калію абсолютно суха маса амаранту характеризувалась у фазі бутонізації з поступовим його зниженням у наступних фазах [236].

Аналіз вмісту елементів живлення у зеленій масі амаранту показав що є значні відмінності залежно від сорту. Відмічено сильний зворотний зв'язок між сортом та вмістом елементів живлення: сорт – азот - $r = - 0,97$; сорт – фосфор - $r = - 0,70$; сорт – калій - $r = - 0,79$.

На контрольному варіанті без застосування мінерального удобрення відмічено тенденцію до більшого вмісту елементів живлення в зеленій масі відносно варіанту з нормою $N_{200}P_{80}K_{120}$ (рис. 8.12).

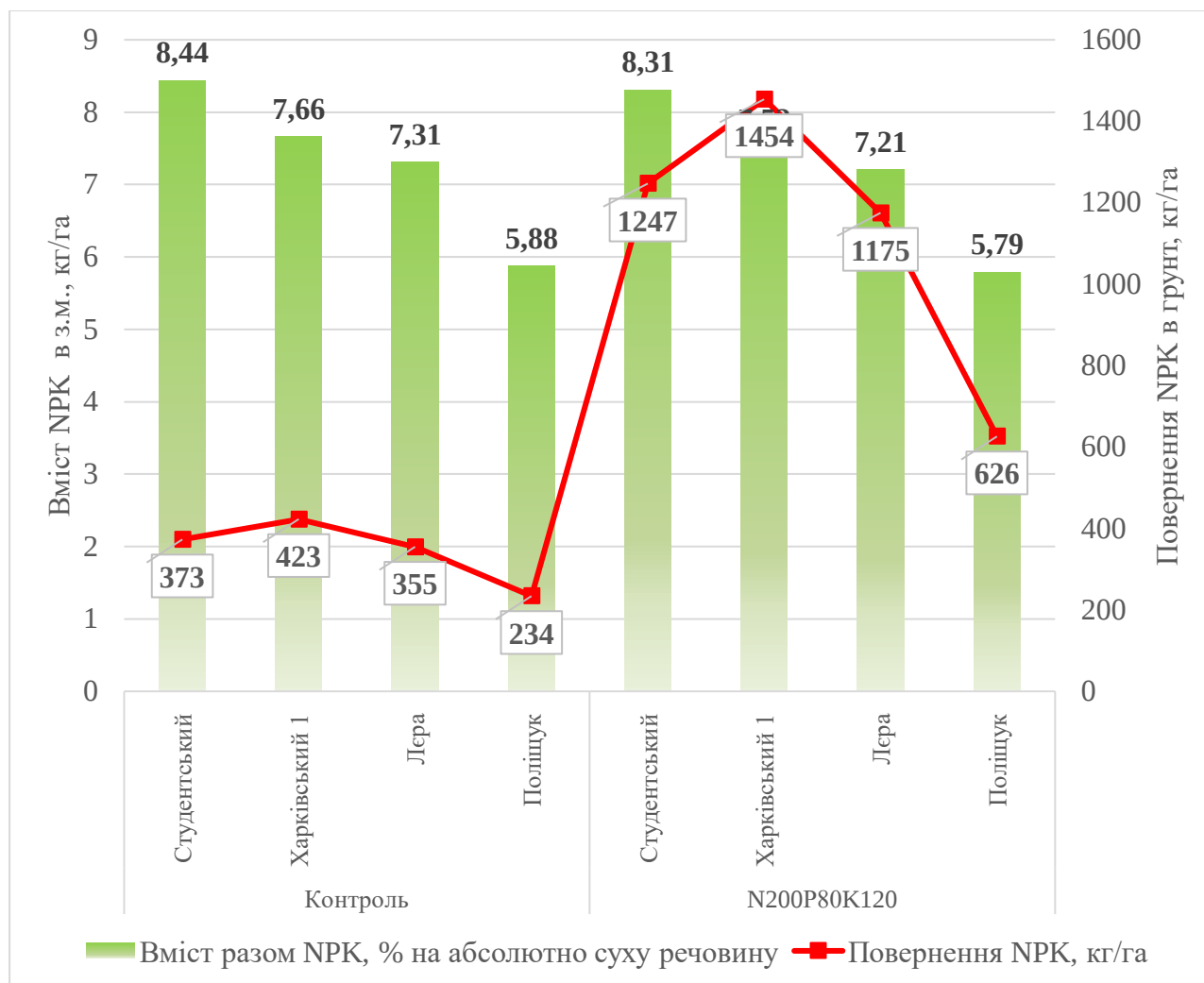


Рис. 8.12. Повернення елементів живлення в ґрунт з зеленою масою амаранту, кг/га.

Вміст азоту коливався в межах 1,39 - 2,54 %, фосфору – 0,65 - 1,09 %, калію – 3,84 - 4,81 %. Найбільшим вмістом елементів живлення (азоту, фосфору, калію) характеризувався сорт Студентський – 8,44 %.

Використання зеленої маси амаранту в якості сидератів дозволяє підвищувати родючість ґрунту, внаслідок повернення в ґрунт значної кількості NPK (табл. 8.12).

**Повернення (надходження) елементів живлення в ґрунт з зеленою
масою амаранту, кг/га**

Фон	Сорт	Елементи			Разом NPK	Приріст
		N	P	K		
Контроль	Студентський	112	48	212	373	-
	Харківський 1	120	45	258	423	-
	Лера	74	50	231	355	-
	Поліщук	55	26	153	234	-
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₂₀	Студентський	375	156	716	1247	874
	Харківський 1	382	139	933	1454	1031
	Лера	245	160	771	1175	820
	Поліщук	146	68	412	626	393

На варіанті з фоном удобрення N₂₀₀P₈₀K₁₂₀ за врожайності сухої маси 15,0 т у сорту Студентський і вмісті азоту 2,50 % у ґрунт надходить 375 кг біологічного азоту, який не вимивається. У процесі мінералізації біомаси, він використовується рослинами наступної у сівозміні культури. У цілому в ґрунт повертається від 244,5 до 381,6 кг азоту, 138,6-159,7 кг фосфору та 715,5-933,4 кг калію. Найбільша (1453,6 кг) кількість NPK надходила в ґрунт з сортом амаранту Харківський 1, найменшу – сорт Поліщук – 626 кг. Приріст відносно контролю без застосування мінерального удобрення був в межах 393-1031 кг/га, залежно від сорту.

Фіторе mediaція ґрунту амарантом

Забруднення ґрунтів важкими металами є однією з найсерйозніших екологічних проблем сучасності, що виникла внаслідок інтенсивної промислової діяльності, застосування пестицидів та мінеральних добрив, а також техногенних

забруднень [316, 515, 525, 559]. Важкі метали не піддаються біологічному розкладанню, накопичуються в екосистемах та можуть потрапляти до харчових ланцюгів, створюючи загрозу для здоров'я людини [316, 525, 570]. В цьому контексті фітореMediaція – використання рослин для очищення забруднених ґрунтів – набуває особливого значення як екологічно безпечна та економічно ефективна технологія [515, 588].

Серед рослин-гіперакумуляторів особливу увагу привертають представники роду *Amaranthus*, які демонструють високий потенціал для акумуляції важких металів та можуть використовуватися для фітореMediaції забруднених ґрунтів [254, 297, 302, 321, 363, 377, 423, 599]. Амарант характеризується швидким ростом, високою біомасою та здатністю рости в різноманітних кліматичних умовах, що робить його перспективним кандидатом для практичного застосування в програмах очищення ґрунтів [73, 94, 324, 363, 437, 559, 588]. Аналіз результатів досліджень (табл. 8.13) показав, що у ґрунті дослідних ділянок найвищу питому активність виявлено по K_{40} яка складає 320 Бк/кг. Показник Ra_{226} та Th_{232} був нижчий у 130 разів та 16,5 рази відповідно.

Таблиця 8.13

Інтенсивність накопичення і виносення радіонуклідів зеленою масою амаранту сорту Харківський 1, Бк/кг, середнє за 2021 – 2023 рр.

Радіонукліди	Питома активність радіонуклідів		Коефіцієнт накопичення радіонуклідів	Винесення з ґрунту радіонуклідів, Бк/кг
	ґрунт	зелена маса		
K_{40}	320±14	763±21	2,38	19075000
Ra_{226}	24,5±1,7	42,3±1,5	1,72	1057500
Th_{232}	19,3±1,2	83,2±2,3	4,3	2075000

*Урожайність вегетативної маси 25 т/га

У зеленій масі амаранту питома активність K_{40} була вища порівняно з Ra_{226} у 18 рази та Th_{232} у 9,2 рази. Коефіцієнт накопичення радіонуклідів зеленій масі

амаранту найвищий виявився по Th_{232} , який складав 4,3. В порівнянні з K_{40} та Ra_{226} питома активність в зеленій масі амаранту була вища по Th_{232} у 1,8 рази та 2,5 рази відповідно. Загальна кількість виносених з ґрунту досліджуваних радіонуклідів з зеленою масою амаранту складала 22207500 Бк/кг, з яких 85,9 % - K_{40} , 4,8 % - Ra_{226} та 9,3 % - Th_{232} . Найвища кількість виношення з зеленою масою амаранту спостерігалася за K_{40} , яка складала 19075000 Бк/кг. В порівнянні з Ra_{226} та Th_{232} з ґрунту з зеленою масою амаранту виноситься більше K_{40} у 18,0 рази та 9,2 рази відповідно.

За результатами досліджень (табл. 8.14), концентрація у ґрунті дослідних ділянок Cd, Zn та Cu була нижча за допустимі рівні у 8,0 рази, 8,8 рази та 3,3 рази відповідно.

Таблиця 8.14

**Інтенсивність накопичення важких металів зеленою масою амаранту
сорту Харківський 1, мг/га**

Важкі метали	Концентрація важких металів				Коефіцієнти:	
	ґрунт	ДР	зелена маса	ДР	накопичення	небезпеки
Cd	0,087±0,0031	0,7	0,252±0,05	0,5	2,3±0,43	0,5
Zn	2,6±0,41	23	8,55±0,8	100	3,3±0,74	0,08
Cu	0,91±0,014	3,0	2,68±0,2	30	2,9±0,27	0,09

У зеленій масі амаранту концентрація Cd, Zn та Cu була нижча за допустимі рівні у 2,0 рази, 11,7 рази та 11,2 рази відповідно. Найвищий коефіцієнт накопичення важких металів у зеленій масі амаранту спостерігався по Zn. Порівняно з Cd та Cu коефіцієнт накопичення Zn у зеленій масі був вищим у 1,43 та 1,13 рази відповідно. Коефіцієнт небезпеки важких металів у зеленій масі не перевищував граничну межу 1,0, що свідчить про безпечність цієї сировини. Найвищий коефіцієнт небезпеки був по Cd, який склав 0,5. Порівняно з Zn та Cu коефіцієнт небезпеки Cd у зеленій масі амаранту був вищим у 6,25 рази та 5,5 рази відповідно.

Із зеленою масою амарант з одного гектару виносить 287050 мг важких металів, з яких 2,19 % - Cd, 74,5 % - Zn та 23,3 % - Cu (табл. 8.15).

Таблиця 8.15

Інтенсивність винесення важких металів з ґрунту зеленою масою амаранту сорту Харківський 1, мг/га

Важкі метали	Урожайність зеленої маси (2021 – 2023 рр.), т/га	Концентрація важких металів, мг/кг	Винесення з ґрунту важких металів, мг/га
Cd	25	0,252±0,05	6300
Zn	25	8,55±0,8	213750
Cu	25	2,68±0,2	67000

Найбільша кількість винесених вегетативною масою важких металів з ґрунту спостерігалось по Zn, кількість якого складала 213750 мг/га. Порівняно менше Cd та Cu у 33,9 та 3,2 рази відповідно. Вегетативна маса амаранту за наведеними показниками є екологічно безпечною як сидерат, для вирощування сільськогосподарських культур, і кормовою сировиною, придатною для споживання тваринами без ризику для здоров'я.

Висновки до розділу 8

1. Елементи структури продуктивності амаранту впливали на формування врожайності зеленої маси досліджуваних сортів амаранту. Найвищі показники висоти і маси рослин були у сорту Харківський 1, що забезпечило найбільшу врожайність серед досліджуваних сортів – 25-82 т/га, залежно від варіанту удобрення.

2. На вміст елементів живлення в зеленій масі мали вплив сортові особливості амаранту. Найбільшим вмістом елементів живлення (азоту,

фосфору, калію) характеризувався сорт Студентський за природної родючості ґрунту – 8,44 % і 8,31 % - за норми мінеральних добрив $N_{200}P_{80}K_{120}$.

3. Використання зеленої маси високорослих сортів амаранту (Студентський, Лера, Харківський 1), вирощених без застосування мінеральних добрив, в якості сидератів дозволяє підвищувати рівень родючості ґрунту, внаслідок повернення значної кількості NPK (355 - 432 кг/га).

4. Використання зеленої маси амаранту в якості сидерату, вирощеного за норми мінеральних добрив $N_{200}P_{80}K_{120}$, дозволяє підвищувати родючість внаслідок повернення в ґрунт від 145,2 до 421,0 кг азоту, 59,7-162,2 кг фосфору та 450,4-939,1 кг калію залежно від досліджуваного сорту. Найбільша (1505,6 кг) кількість NPK надходила в ґрунт з вегетативною масою сорту амаранту Харківський 1.

5. За результатами досліджень встановлено, що амарант характеризується високим виношенням з ґрунту радіонуклідів та важких металів з урожаєм. Найвищий коефіцієнт накопичення у вегетативній масі амаранту, состерігався по Th^{232} , який складав 4,3. Серед важких металів найвищим коефіцієнтом накопичення у вегетативній масі виявлено по Zn (3,3).

За матеріалами даного розділу автором опубліковано наукові праці [186, 205].

РОЗДІЛ 9

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ АМАРАНТУ ЗАЛЕЖНО ВІД ДОСЛІДЖУВАНИХ ФАКТОРІВ

Амарант – це цінна культура, посівні площі якої в Україні постійно розширюються. В 2018 р. амарантом було засіяно 800 га, у 2021 р. площа зросла до 3500 га, в 2025 р очікується, що вирощуватимуть амарант на площі 10000 га. Врожайність зерна амаранту в різних ґрунтово-кліматичних умовах України коливається в значних межах і може досягати 5,0 т/га [38, 232, 245, 567].

Амарант є перспективною сировиною для виробництва харчових продуктів з лікувальними та профілактичними властивостями. Згідно зі стандартом, зерно амаранту, призначене для продовольчих або фармакологічних потреб, відноситься до I типу, кормове і технічне зерно - до II типу. При цьому кормове зерно не ділиться на класи відповідно до стандарту [56].

Досягнення високої врожайності амаранту, як і будь-якої іншої культури, може забезпечувати добрі економічні показники [9; 115, 177, 178]. Стверджується також, що це високорентабельна сільськогосподарська культура, відмінний попередник у сівозмінах [115, 151, 177].

Амарант має значний економічний потенціал, зумовлений високою ціною реалізації, яка в 2024 році становила 30000 грн за 1 т. Встановлено, що найбільшу практичну цінність при вирощуванні на зерно в східній частині Лівобережного Лісостепу України мають сорти: Лера, Сем і Харківський 1 [34, 135]. За іншими даними найбільш поширені сорти у виробництві: Харківський 1, Лера, Ультра, Сем, Студентський, Геліос [13, 52, 176].

Необхідно зазначити, що технологія вирощування цієї культури є недостатньо вивчена. Уточнення потребують майже усі елементи технології з врахуванням певних ґрунтово-кліматичних умов. Перегляд концептуального підходу до розробки нових та удосконалення вже існуючих технологій вирощування амаранту дозволить створити передумови для досягнення стабільного, біокліматичного потенціалу, енергетичних та економічно

обґрунтованих врожаїв амаранту в умовах розширеного відновлення родючості ґрунтів та екологічної безпеки [18; 66, 67, 69, 128]. Оптимізація елементів технології вирощування сортів амаранту повинна супроводжуватись оцінкою економічної доцільності застосування пропонованих удосконалень технології вирощування.

9.1 Економічна ефективність вирощування сортів амаранту

Селекцією можна значно поліпшити якість зерна амаранту та підвищити його врожайність. Велику цінність мають нові сорти, які в певних ґрунтово-кліматичних умовах переважають за врожайністю вирощувані тут сорти, враховуючи що витрати на виробництво насіння амаранту мінімальні. Використання адаптованих до умов вирощування сортів амаранту є важливим у плані забезпечення високих показників економічної ефективності цієї перспективної культури.

За даними Дудки М.І., за врожайності зерна (1,77 т/га) амаранту в умовах Степу одержали найнижчі показники його собівартості (7773 грн/т), найвищий прибуток на одиницю площі (39341 грн/га) та рівень рентабельності зерновиробництва 285,9 % за енергетичного коефіцієнта 2,95 [72]. Економічно врожай амаранту на зелений корм перевершує кукурудзу за врожайністю у 2,62 рази, за врожайністю кормових одиниць у 2,72 рази, за чистим доходом у 3,65 рази та рентабельністю у 2,85 рази [75].

За результатами проведених досліджень, встановлено, що найвищу врожайність за рівня удобрення $N_{120}P_{80}K_{120}$ у середньому формував сорт Харківський 1 - 4,03 т/га, що вище ніж у сорту Ультра на 2,06 т/га (104,6 %). У сорту Лера врожайність становила 3,28 т/га, що менше порівняно з сортом Харківський 1 на 0,75 т/га. Серед сортів амаранту найменшу врожайність зерна одержали у сорту Ультра – 1,97 т/га. Низька врожайність була також у сорту Ацтек – 2,19 т/га, що вище ніж у сорту Ультра на 0,22 т/га (11,2 %). Майже на такому ж рівні сформувалась врожайність зерна у сорту Поліщук – 2,21 т/га, або більше від сорту Ультра на 0,24 т/га (12,2 %). У сорту Студентський врожайність

становила 2,45 т/га, тобто вище від сорту Ультра на 0,48 т/га (24,4 %). Сорт Сем за врожайності 2,74 т/га перевищив сорт Ультра на 0,77 т/га (39,1 %).

Показники економічної ефективності встановлювали за такими загальноприйнятими показниками: вартість вирощеної на 1га продукції, затрати на 1 га, собівартість 1 т зерна, чистий прибуток з 1 га та рівень рентабельності. Вартість продукції з 1 га встановлювали з врахуванням цін у 2024-2025 роках за 1 т зерна амаранту. Закупівельна ціна насіння амаранту становила 25-30 тис грн. Аналіз показує, що вартість продукції з 1 га залежить від рівня врожайності сорту та ціни за 1 т зерна. За ціни 25000 грн вартість продукції у наших дослідженнях для сорту Ультра становила 49250 грн, а в найурожайнішого сорту Харківський 1 зросла до 100750 грн (табл. 9.1).

Таблиця. 9.1

Показники економічної ефективності вирощування сортів амаранту*

Сорт	Урожайність, т/га	Вартість продукції 1 га, грн	Виробничі затрати на 1 га*, грн	Собівартість 1 т зерна, грн	Чистий прибуток, грн	Рівень рентабель- ності, %
Ультра	1,97	49250	44445	22561	4805	11
Студентський	2,45	61259	44445	18141	16814	39
Харківський 1	4,03	100750	44445	11028	56305	127
Лєра	3,28	82000	44445	13550	37555	85
Ацтек	2,19	54750	44445	20295	10305	23
Сем	2,74	68500	44445	16221	24055	54
Полішук	2,21	55250	44445	20111	10805	24

*на фоні удобрення N₁₂₀P₈₀K₁₂₀

Виробничі затрати на 1 га становили 44445 грн. У структурі затрат на технологію вирощування найбільший відсоток займали мінеральні добрива, витрати на пальне і засоби захисту рослин. Необхідно зазначити, що навіть за таких високих витрат на 1 га з врахуванням орендної плати за землю, всі сорти

забезпечили одержання прибутку. Собівартість 1 т зерна виявилась найвищою у сорту Ультра – 22561 грн і найменшою у сорту Харківський 1 – 11028 грн. Економічна ефективність вирощування сорту Харківський 1 також виявилась найвищою, забезпечивши чистий прибуток у розмірі 56305 гривень (рис. 9.1).

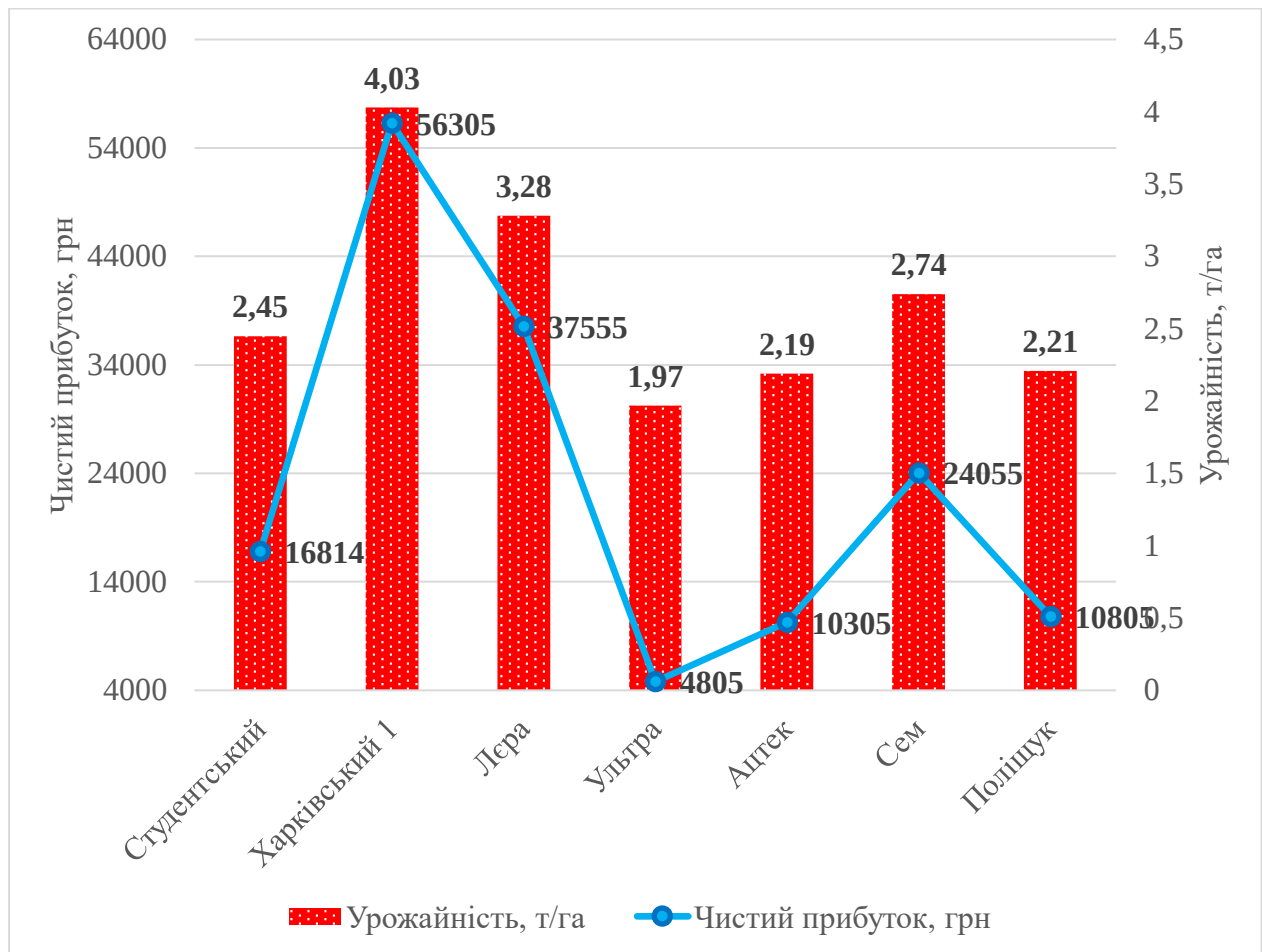


Рис. 9.1. Рівень умовно чистого прибутку сортів амаранту, грн (в середньому за 2019 – 2021 рр.)

Значно нижчі результати економічної ефективності показав сорт Лера, із чистим прибутком 37555 гривень, і сорт Сем із прибутком 24055 гривень. Сорт Студентський забезпечив прибуток на рівні 16814 гривень, тоді як сорти Ацтек і Поліщук продемонстрували майже однакові результати з прибутком 10305 та 10805 гривень відповідно. Найменшу економічну ефективність виявив сорт Ультра, який забезпечив лише 4805 гривень чистого прибутку. Загальна

рентабельність вирощування досліджуваних сортів характеризувалася значним діапазоном коливань – від 11 до 127 %.

9.2 Економічна ефективність вирощування амаранту залежно від рівнів мінерального удобрення

Амарант відносно нова культура для України, яку відносять до нішових. Характеризується високим вмістом і збалансованістю білка, високою врожайністю, підвищеним вмістом вітамінів, мінеральних речовин. Глобальне потепління робить вирощування амаранту особливо актуальним завдяки його унікальній особливості пристосовуватись до різних умов навколишнього середовища [4, 253, 324, 368, 424, 437, 481, 587].

Амарант добре росте на всіх основних видах ґрунтів [29, 32, 128, 263, 324, 354]. Холодостійкі та посухостійкі сорти амаранту можуть вирощуватися практично в будь-якому регіоні України [29, 32, 38, 232]. Урожайність зерна в різних ґрунтово-кліматичних умовах України коливається в значних межах і може досягати 5,0 т/га [38, 176, 232].

Важливим показником якості є високий вміст білка в зерні амаранту який коливається в діапазоні 11,66-14,47 % [105, 113, 169].

Висока харчова цінність і унікальний хімічний склад зерна амаранту роблять його культурою майбутнього [50, 253, 437, 517, 587]. Необхідно відмітити високу якість олії з амаранту. Цінність амарантової олії полягає в тому, що вона містить сквален (8 %), який у сполученні з токоферолом регулює ліпідний обмін. Амарант вважається «природною біофармацевтичною рослиною» [304, 419, 508]. Унікальний склад олії насіння амаранту робить її корисним інгредієнтом у харчовій, фармацевтичній та косметичній промисловості [441, 509].

Отже, аналіз наукових публікацій показує доцільність і важливість оцінки економічної ефективності вирощування амаранту, особливо в умовах нестабільності цін на матеріальні ресурси.

У сучасних системах удобрення значна частина витрат припадає на мінеральні добрива [104, 109, 111, 112]. Для росту і розвитку рослин у найбільшій кількості потрібні азот, фосфор та калій. Проте зустрічаються дуже різні рекомендації щодо норм внесення мінеральних добрив та доцільності застосування тих чи інших елементів живлення.

Вирощування амаранту, як і будь-якої іншої культури, має забезпечувати добрі економічні показники [9, 115, 177, 178]. Це високорентабельна сільськогосподарська культура, відмінний попередник у сівозмінах [115, 151, 177]. Дослідники зазначають, що амарант має економічний потенціал, зумовлений високою ціною реалізації. Встановлено, що найбільшу практичну цінність при вирощуванні на зерно в східній частині Лівобережного Лісостепу України мають сорти: Лера, Сем і Харківський 1 [34, 135].

За умов високої вартості матеріальних ресурсів важливо всебічно оцінити ефективність як окремих елементів вирощування амаранту, так і технології в цілому. Адже за інтенсифікації технології вирощування для досягнення урожайності на рівні 5,0 т/га зерна амаранту необхідні значні витрати коштів. Вкладені у технологію кошти повинні супроводжуватись збільшенням виробництва продукції, а вартість приросту врожаю чи поліпшення його якості, випереджувати збільшення витрат.

Дослідження, які стали основою для встановлення показників економічної ефективності, проводили на дослідному полі Львівського національного університету природокористування на темно-сірому опідзоленому ґрунті в 2019-2021 рр. Згідно схеми дослідів вивчали сім норм добрив: контроль без добрив, $N_{40}P_{20}K_{40}$, $N_{80}P_{40}K_{80}$, $N_{120}P_{40}K_{80}$, $N_{160}P_{80}K_{120}$, $N_{200}P_{80}K_{120}$, $N_{200}P_{80}K_{160}$.

Економічну ефективність встановлювали за такими показниками: вартість вирощеної на 1 га продукції, затрати на 1 га, собівартість 1 т зерна, чистий прибуток з 1 га та рівень рентабельності. Вартість продукції з 1 га встановлювали з врахуванням цін у 2024-2025 роках за 1 т зерна амаранту. За даними асоціації виробників амаранту [13, 67, 99, 153] закупівельна ціна насіння амаранту становила 25-30 тис грн. Аналіз показує, що вартість продукції з 1 га

залежить від рівня врожайності та ціни за 1 т. За ціни 25000 грн вартість продукції у наших дослідженнях на контролі становила 57750 грн, а за внесення найвищої норми добрив зростає до 122000 грн.

У структурі затрат на технологію вирощування найбільший відсоток займають мінеральні добрива, витрати на паливо та засоби захисту рослин (рис. 9.2). Тому важливо з'ясувати доцільність внесення високих норм мінеральних добрив, використання гербіцидів, фунгіцидів та інсектицидів, встановити які саме елементи технології вирощування забезпечують найкращі показники економічної ефективності.



Рис. 9.2. Структура витрат на вирощування амаранту сорту Харківський 1 за рівня удобрення $N_{200}P_{80}K_{160}$, грн на 1 га

Витрати на вирощування амаранту у 2023 році становили 15000 грн на га [172]. Загалом витрати на вирощування амаранту в травневих посівах можуть не перевищувати 10 тис грн/га, у післяжнивних — 4 тис грн/га. Враховуючи ціну на насіння від 25 тис грн/т, а також відносну невибагливість культури до умов вирощування та її користь як попередника, економіка її вирощування за урожайності 2 т/га, є досить привабливою [9, 70, 72]. Як вказують інші дослідники, амарант це досить конкурентоспроможна рослинницька продукція [115].

Для встановлення суми затрат на 1 га використовували технологічну схему вирощування амаранту, яка розрахована для варіанту з внесенням найвищої ($N_{200}P_{80}K_{160}$) норми мінеральних добрив.

Ціни за 1 т добрив взяті наступні: хлористий калій – 29000 грн; амофос – 35000 грн; аміачна селітра – 24000 грн; карбамід – 33000 грн. Найменша сума витрат, з врахуванням орендної плати за землю, була на варіанті без внесення мінеральних добрив – 24683 грн (дод. техн. карта).

З внесенням мінеральних добрив витрати на вирощування амаранту значно збільшуються. За норми $N_{200}P_{80}K_{160}$ вони зросли до 52130 грн, що у два рази вище, ніж на контролі. Витрати на добрива на цьому варіанті зросли до 27450 грн.

У розрахунках до табл. 9.2 використовували такі показники:

- Вартість хлористого калію (K_{40}) становить: $0,67 \text{ ц} \times 2900 = 1943 \text{ грн.}$
- Вартість карбаміду (N_{40}) становить: $0,87 \text{ ц} \times 3300 = 2871 \text{ грн.}$
- Вартість фосфору (P_{20}) становить: $0,38 \text{ ц} \times 3500 = 1330 \text{ грн.}$
- Вартість добрив $N_{40}P_{20}K_{40}$ становить: $2871 + 1330 + 1943 = 6144 \text{ грн.}$

Незважаючи на дуже високі ціни на добрива та високі норми їх внесення, вирощування амаранту за інтенсивною технологією забезпечувало високі показники економічної ефективності.

Собівартість 1 т зерна амаранту, незважаючи на зростання витрат на технологію вирощування, знаходилась у досить вузькому діапазоні і коливалась у межах 10087-10682 грн. Це пояснюється високою ефективністю мінеральних добрив, які забезпечили зростання врожайності з 2,31 т/га до 4,88 т/га, тобто на 2,57 т/га.

Найважливішим показником економічної ефективності вирощування амаранту є чистий прибуток з 1 га. Збільшення норми внесення добрив, а отже і суми витрат, повністю компенсовувалось вартістю одержаного додаткового врожаю. Навіть на контролі без добрив чистий прибуток був досить високим і становив 33067 грн/га (рис.9.3).

Таблиця 9.2.

Показники економічної ефективності вирощування амаранту сорту Харківський 1 залежно від застосування норм мінеральних добрив

Норма добрив	Урожайність, т/га	Вартість продукції з 1 га, грн	Виробничі затрати на 1 га*, грн	Витрати на добрива на 1 га, грн	Собівартість 1 т зерна, грн	Чистий прибуток, грн	Рівень рентабельності, %
N ₀ P ₀ K ₀ контроль	2,31	57750	24683	-	10685	33067	134
N ₄₀ P ₂₀ K ₄₀	2,98	74500	30827	6147	10345	43673	142
N ₈₀ P ₄₀ K ₈₀	3,54	88500	36971	12291	10444	51529	139
N ₁₂₀ P ₄₀ K ₈₀	3,95	98750	39842	15162	10087	58908	149
N ₁₆₀ P ₈₀ K ₁₂₀	4,50	112500	45986	21306	10219	66514	145
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₂₀	4,84	121000	50187	25507	10369	70813	141
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₆₀	4,88	122000	52130	27450	10682	69870	134

* за цінами станом на 1.01.2025 р.

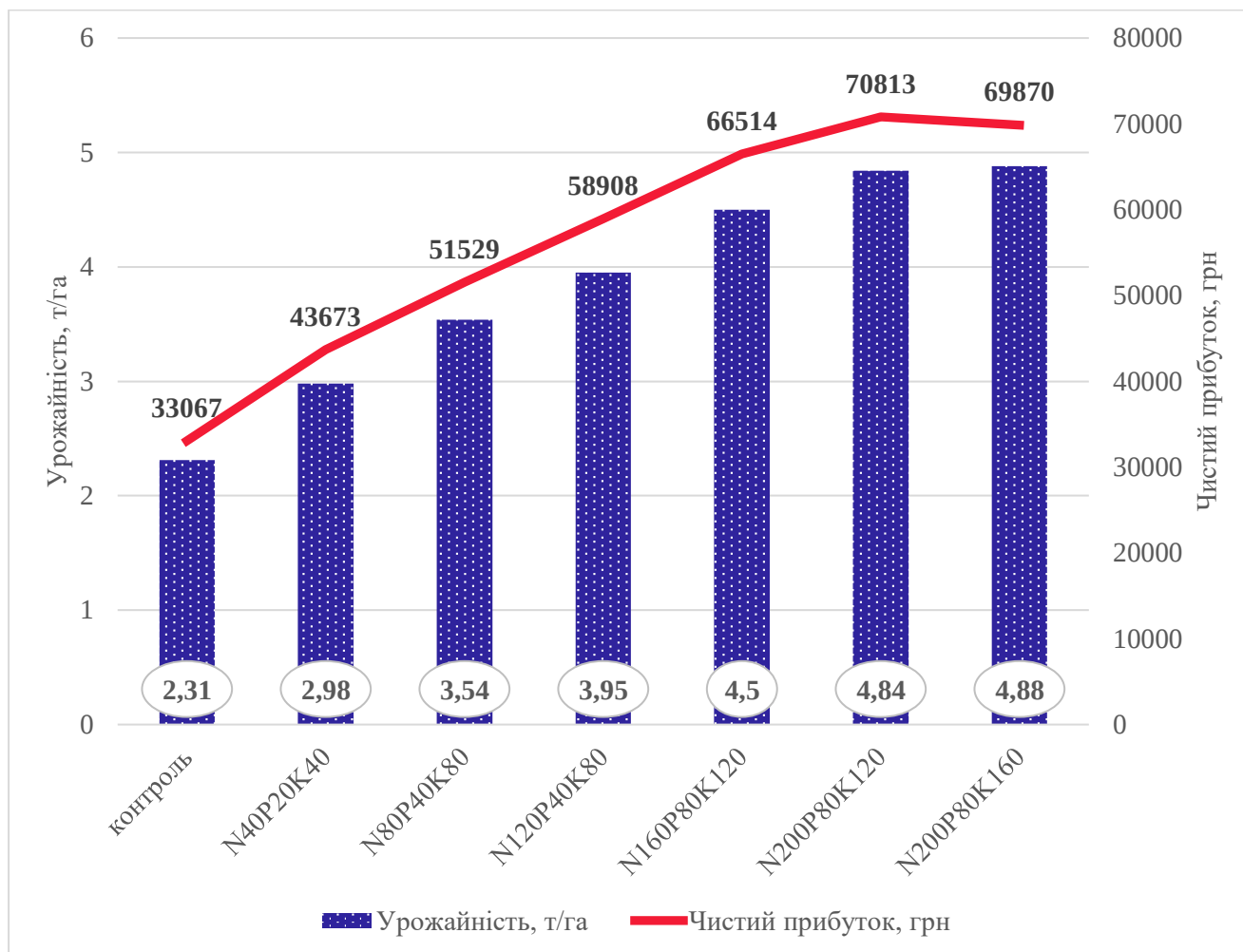


Рис. 9.3. Умовно чистий прибуток від вирощування амаранту сорту Харківський 1 залежно від застосування норм мінеральних добрив, грн.

Це можна пояснити інтенсифікацією технології вирощування амаранту завдяки внесенню гербіцидів, дворазовим захистом від шкідників та використанням фунгіциду для захисту від ураження хворобами. За внесення норми добрив $N_{40}P_{20}K_{40}$ чистий прибуток зріс на 10606 грн. Подвоєння норми добрив на варіанті з внесенням $N_{80}P_{40}K_{80}$ забезпечило зростання чистого прибутку на 18462 грн. На варіанті з нормою добрив $N_{120}P_{40}K_{80}$ чистий прибуток підвищився на 25841 грн, а за внесення $N_{160}P_{80}K_{120}$ збільшився на 33447 грн. Найбільшим цей показник був на варіанті з внесенням $N_{200}P_{80}K_{120}$, де становив 70813 грн. Збільшення норми калійних добрив на K_{40} на останньому варіанті виявилось економічно неефективним і призвело до зниження чистого прибутку на 943 грн.

Незважаючи на великі витрати на технологію вирощування амаранту, завдяки високому прибутку, рівень рентабельності становив 134-149 %.

Подібні результати одержані також іншими дослідниками. Як зазначає Рижков О. – це культура номер один за рентабельністю [149, 150, 151]. За вирощування в умовах Одеської області амарант забезпечує найвищу рентабельність серед усіх польових культур [228, 231]. Сівба амаранту волотистого на зерно широкорядним (45 см) способом з нормою висіву насіння 1,0 кг/га забезпечує одержання найнижчих показників його собівартості (7773 грн/т), найвищого прибутку на одиницю площі (39341 грн/га) за рівня рентабельності зерновиробництва 285,9 % [70, 71, 72, 74].

9.3 Економічна ефективність вирощування амаранту залежно від засобів боротьби з бур'янами

Економічна ефективність вирощування амаранту значною мірою визначається правильним вибором системи захисту від бур'янів, оскільки ця культура характеризується повільними темпами росту на початкових етапах розвитку та низькою конкурентною здатністю до змикання рядків [29]. За даними досліджень, проведених в умовах України, втрати врожаю амаранту від бур'янів можуть сягати 50-70% без належного контролю [17]. Тому вибір оптимальної системи контролю бур'янів має вирішальне значення не лише для формування врожайності, але й для забезпечення рентабельності виробництва зерна амаранту.

Аналіз економічної ефективності різних систем контролю бур'янів при вирощуванні амаранту показує істотну варіабельність показників залежно від обраного методу боротьби. Найвищу врожайність зерна забезпечує контрольний варіант із застосуванням двох механічних міжрядних обробітків та ручного прополювання – 3,21 т/га, що дозволяє отримати вартість продукції на рівні 80250 грн/га (табл. 9.3).

Таблиця 9.3

Показники економічної ефективності вирощування амаранту сорту Харківський 1 залежно від засобів боротьби з бур'янами

Гербіцид	Урожайність, т/га	Вартість продукції з 1 га, грн	Виробничі затрати на 1 га*, грн	Витрати на засоби боротьби з бур'янами на 1 га, грн	Собівартість 1 т зерна, грн	Чистий прибуток, грн	Рівень рентабельності, %
Контроль	3,21	80250	52080	7200	16224	28170	35,1
Бетанал Макс Про 209 OD, Bayer	1,84	46000	48460	3580	26337	-2460	-5,3
Штефам к.с., Stefes	2,04	51000	47896	3016	23478	3104	6,1
Гезагард 500 FW, к. с., Syngenta	2,81	70250	47960	3080	17068	22290	31,7
Команд 48 к.е., FMC	2,28	57000	47336	2456	20761	9664	17,0
Карібу 50 з.п., FMC	2,68	67000	47560	2680	17746	19440	29,0
Лонтрел Гранд в.г., Syngenta	2,34	58500	47960	3080	20496	10540	18,0

* за цінами станом на 1.01.2025 р.

Водночас, цей варіант характеризується найвищими витратами на боротьбу з бур'янами – 7200 грн/га, що пов'язано із значними затратами ручної праці. Незважаючи на високі виробничі затрати загалом (52080 грн/га), собівартість 1 тонни зерна при цьому залишається найнижчою серед усіх варіантів – 16224 грн, а чистий прибуток становить 28170 грн/га при рівні рентабельності 35,1%.

Серед хімічних методів контролю бур'янів виділяється препарат Гезагард 500 FW виробництва компанії Syngenta, який демонструє оптимальне співвідношення між ефективністю контролю бур'янів та збереженням продуктивності культури. При застосуванні цього гербіциду врожайність амаранту становить 2,81 т/га, що складає 87,5% від контрольного варіанту. Така помірна фітотоксичність компенсується істотним зниженням витрат на захист від бур'янів до 3080 грн/га, що в 2,3 рази менше порівняно з контролем. Це забезпечує формування чистого прибутку на рівні 22290 грн/га при рентабельності 31,7 %, що робить даний варіант економічно привабливим для виробників, які не можуть застосовувати органічні технології.

Подібну ефективність демонструє препарат Карібу 50 з.п. виробництва FMC, який забезпечує врожайність 2,68 т/га при ще нижчих витратах на захист від бур'янів – 2680 грн/га. Це дозволяє отримати чистий прибуток 19440 грн/га при рентабельності 29 %, що також є економічно виправданим показником. Дещо нижчу ефективність показують препарати Команд 48 к.е. (FMC) та Лонтрел Гранд в.г. (Syngenta) з врожайністю 2,28 та 2,34 т/га відповідно, що забезпечує рентабельність на рівні 17-18 %.

Особливу увагу привертають результати застосування гербіциду Бетанал Макс Про 209 OD виробництва Bayer, який виявився єдиним збитковим варіантом з негативною рентабельністю -5,3%. Врожайність при його застосуванні становила лише 1,84 т/га, що на 42,7% нижче контрольного варіанту. Така висока фітотоксичність препарату для амаранту призводить до того, що навіть при помірних витратах на гербіцид (3580 грн/га) собівартість продукції зростає до 26337 грн/т, а виробничі затрати перевищують вартість

отриманої продукції на 2460 грн/га. Це підтверджує дані Дуди О. та Капштика М. про необхідність ретельного підбору гербіцидів для амаранту з урахуванням їх селективності до культури [68, 69].

Низьку економічну ефективність показав також препарат Штефам к.с. виробництва Stefes, який хоча й забезпечив позитивну рентабельність на рівні 6,1%, але врожайність становила лише 2,04 т/га при собівартості продукції 23478 грн/т. Такі показники роблять його використання економічно недоцільним порівняно з іншими варіантами хімічного захисту.

Отримані результати свідчать про складний характер взаємодії між ефективністю контролю бур'янів та фітотоксичною дією гербіцидів на рослини амаранту. Як зазначає Дейнега О., амарант є чутливою культурою до багатьох гербіцидів, що обмежує їх асортимент та потребує пошуку оптимальних препаратів [50]. Всі досліджені гербіциди певною мірою знижували врожайність культури порівняно з механічним контролем, що узгоджується з даними Casini P. та Biancofiore G. про негативний вплив стресових факторів на продуктивність амаранту [306].

Водночас, економічний аналіз показує, що правильно підібрані гербіциди можуть забезпечити високу рентабельність виробництва за рахунок суттєвого зниження витрат на контроль бур'янів. При механічному контролі ці витрати становлять 13,8 % від загальних виробничих затрат, тоді як при використанні найефективніших гербіцидів цей показник знижується до 5,2-6,4%. Це особливо важливо в умовах дефіциту робочої сили та зростання її вартості, на що вказують у своїх дослідженнях Маковей Ю. та Рижков О. [115, 149].

Таким чином, вибір системи контролю бур'янів при вирощуванні амаранту повинен базуватися на комплексній оцінці не лише біологічної ефективності препаратів, але й їх фітотоксичності та економічних показників. Для органічного виробництва єдиним прийнятним варіантом залишаються механічні міжрядні обробітки з ручним прополюванням, які забезпечують максимальну врожайність та прибутковість. Для інтенсивних технологій оптимальним є використання гербіцидів Гезагард 500 FW або Карібу 50, які забезпечують найкращий баланс

між збереженням продуктивності культури та економічною ефективністю вирощування амаранту.

9.4 Біоенергетична оцінка технології вирощування амаранту

Комплексний аналіз енергетичних потоків у сільському господарстві та їх перетворень в агроєкосистемах дозволяє відкрити нові горизонти для розвитку прогресивних агротехнологій. Сучасні методи ведення сільського господарства повинні фокусуватися на максимальному використанні природних енергоресурсів, одночасно знижуючи антропогенне енергетичне навантаження та мінімізуючи негативний вплив на довкілля, особливо на якість і родючість ґрунтів [121].

Зростаюча потреба в раціональному використанні аграрної техніки, паливно-мастильних матеріалів, електроенергії та різноманітних агрохімікатів вимагає точного обліку енергії, що акумулюється в сільськогосподарських культурах, та комплексного підрахунку всіх енергетичних витрат на виробництво рослинницької продукції, що реалізується через біоенергетичну оцінку технологічних процесів. Сутність біоенергетичної оцінки полягає у встановленні балансу між енергією, накопиченою рослинами в процесі фотосинтезу, та енергетичними витратами на всіх етапах виробництва. Це питання набуває особливої значущості в контексті сучасних вимог до енергоефективності сільськогосподарського виробництва [124].

Методологія біоенергетичного аналізу базується на двох ключових принципах: визначенні енергетичної цінності як основної, так і побічної продукції, а також розрахунку сукупних енергетичних витрат на всіх стадіях виробничого циклу з використанням системи енергетичних еквівалентів, що відповідають технологічній карті вирощування [152].

Кругова діаграма на рисунку 9.4 відображає детальний розподіл енергетичних витрат у процесі вирощування амаранту сорту Харківський 1 із застосуванням рівня мінерального живлення $N_{200}P_{80}K_{160}$.

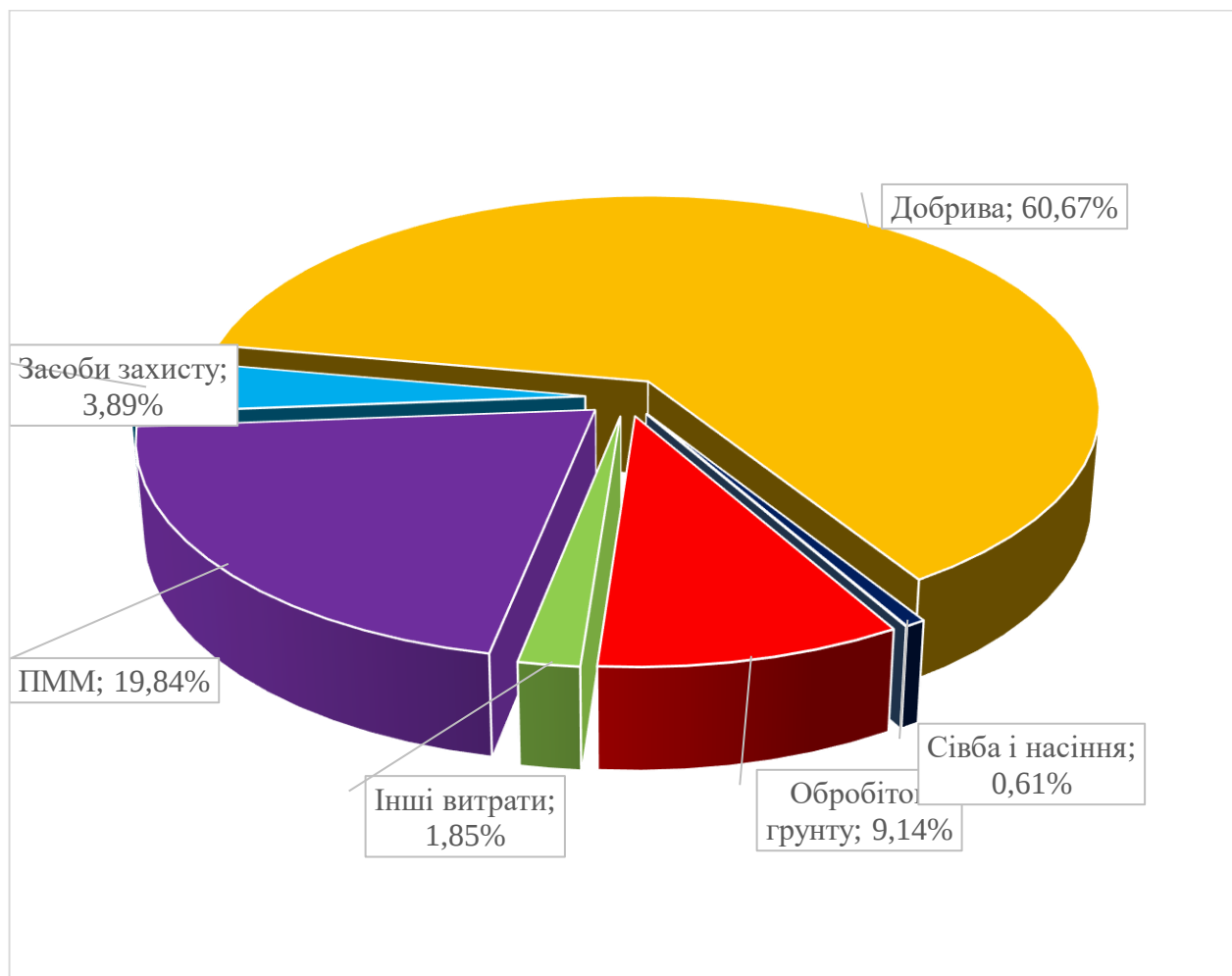


Рис. 9.4. Структура експлуатаційних затрат сукупної енергії при вирощуванні амаранту сорту Харківський 1 за рівня мінерального удобрення $N_{200}P_{80}K_{160}$, %.

Найбільш енергоємним компонентом технології є внесення мінеральних добрив, що складає 60,67 % сукупних енергетичних витрат. Такий високий показник пояснюється високою вартістю, яку складають значні енергетичні затрати на виробництво. Виробництво азотних добрив, зокрема, вимагає значних енергетичних ресурсів через високу енергоємність процесу синтезу аміаку.

На другому місці розташовуються витрати на паливно-мастильні матеріали (ПММ) – 19,84 %. Ця частка відображає енергетичні затрати на паливо для всього комплексу механізованих робіт: від підготовки ґрунту до збирання врожаю. Висока частка ПММ свідчить про значну механізацію сучасних процесів вирощування с/г культур та високу залежність технологій вирощування від енергоресурсів.

Енергетичні затрати на обробіток ґрунту становлять 9,14 % від загальної структури. Цей показник включає енергію, витрачену на основний, передпосівний та міжрядний обробіток. Відносно висока частка цього компонента вказує на значні енергетичні затрати при підготовці та підтриманні оптимального стану ґрунту для вирощування амаранту.

Менш значні, але важливі компоненти структури енергетичних витрат включають:

- Засоби захисту рослин – 3,89 %, що охоплює енергетичні затрати на виробництво, транспортування та застосування пестицидів для контролю шкідників, хвороб та бур'янів

- Інші витрати – 1,85 %, куди можуть входять затрати на очищення та сушіння зерна амаранту.

- Сівба і насіння – найменша частка в 0,61 %, що відображає відносно невеликі енергетичні затрати на насіннєвий матеріал та процес сівби, характерні для амаранту

Аналіз діаграми свідчить про високу енергоємність інтенсивної технології вирощування амаранту з вказаним рівнем мінерального удобрення.

Підсумком біоенергетичного аналізу є визначення співвідношення кількості енергії акумульованої в урожаї до кількості енергії, яка була затрачена на виробництво, збирання та після збиральне доопрацювання урожаю.

У таблиці 9.3 відображаються результати дослідження біоенергетичної ефективності вирощування амаранту сорту Харківський 1 за різних норм

**Біоенергетична ефективність вирощування амаранту сорту Харківський 1 залежно від рівнів удобрення
мінеральних добрив**

Норма добрив	Урожайність, т/га	Затрати енергії, тис МДж/га	Прихід енергії з урожаєм, тис МДж/га	Приріст енергії, тис МДж/га	Енергоємність, МДж/т	Енергетичний коефіцієнт
контроль	2,31	11857,8	42765,03	30907,19	5133,26	3,61
N ₄₀ P ₂₀ K ₄₀	2,98	16825,2	55168,74	38343,5	5646,05	3,28
N ₈₀ P ₄₀ K ₈₀	3,54	20877,2	65536,02	44658,78	5897,53	3,14
N ₁₂₀ P ₄₀ K ₈₀	3,95	24349,2	73126,35	48777,11	6164,36	3,00
N ₁₆₀ P ₈₀ K ₁₂₀	4,5	28405,2	83308,5	54903,26	6312,28	2,93
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₂₀	4,84	32129,2	89602,92	57473,68	6638,27	2,79
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₆₀	4,88	32461,24	90343,44	57882,20	6651,89	2,78

внесення мінеральних добрив. На контрольному варіанті без добрив отримано найменшу врожайність — 2,31 т/га, кожне підвищення дози добрив супроводжується зростанням урожайності. Максимальна врожайність (4,88 т/га) досягнута за норми $N_{200}P_{80}K_{160}$, що більш ніж удвічі перевищує контроль. Важливо зазначити, що інтенсивність приросту урожайності поступово знижується з підвищенням доз добрив. Так, приріст між варіантами із рівнем удобрення $N_{200}P_{80}K_{120}$ (4,84 т/га) та $N_{200}P_{80}K_{160}$ (4,88 т/га) становить лише 0,04 т/га, що вказує на досягнення біологічної межі продуктивності сорту.

Показники енергетичних затрат демонструють стрімке зростання зі збільшенням норм внесення добрив: мінімальні затрати на контролі — 11857,8 тис. МДж/га, максимальні затрати за норми $N_{200}P_{80}K_{160}$ — 32461,24 тис. МДж/га. Темпи зростання енергетичних затрат значно випереджають темпи приросту урожайності. При зростанні дози добрив від нуля до максимальної, енергозатрати збільшились у 2,74 рази, тоді як урожайність — лише у 2,11 рази. Це свідчить про зниження енергетичної ефективності технології з підвищенням інтенсивності хімізації.

Показник приходу енергії з урожаєм прямо пропорційний урожайності. За контрольного варіанту прихід енергії становить 42765,03 тис. МДж/га, а за максимального рівня удобрення $N_{200}P_{80}K_{160}$ — 90343,44 тис. МДж/га. Варто відзначити високий енергетичний потенціал культури амаранту — навіть на контрольному варіанті прихід енергії суттєво перевищує затрати.

Приріст енергії (різниця між приходом енергії з урожаєм та затратами) зростала з підвищенням доз добрив: мінімальний приріст було отримано на контролі — 30907,19 тис. МДж/га, максимальний показник приросту за норми $N_{200}P_{80}K_{160}$ — 57882,2 тис. МДж/га.

Проте, темпи зростання приросту енергії сповільнилися за високих доз мінеральних добрив. Так, різниця приросту енергії між варіантами і нормою мінеральних добрив $N_{200}P_{80}K_{120}$ та $N_{200}P_{80}K_{160}$ становить лише 408,52 тис. МДж/га або 0,7 %.

Енергоємність (питомі енергетичні затрати на тону продукції) демонструє стабільне зростання з підвищенням інтенсивності удобрення: на контрольному варіанті без застосування мінеральних добрив — 5133,26 МДж/т, за максимальної норми удобрення $N_{200}P_{80}K_{160}$ — 6651,89 МДж/т. Зростання енергоємності на 29,6 % при переході від контролю до максимальної норми добрив свідчить про зниження енергоефективності виробництва.

Головною метою оцінювання біоенергетичної ефективності є визначення коефіцієнта енергетичної окупності (співвідношення між витраченою на виробництво енергією та енергетичним потенціалом урожаю) і встановлення рівня енергоємності отриманої продукції [152].

Особливо показовим є енергетичний коефіцієнт (відношення приходу енергії до затрат), який чітко демонструє закономірне зниження енергетичної ефективності з підвищенням норм добрив: найвищий показник енергетичного коефіцієнту було отримано на контролі без застосування мінерального удобрення — 3,61, найнижчий при максимальному удобренні нормою $N_{200}P_{80}K_{160}$ — 2,78 (рис. 9.5).

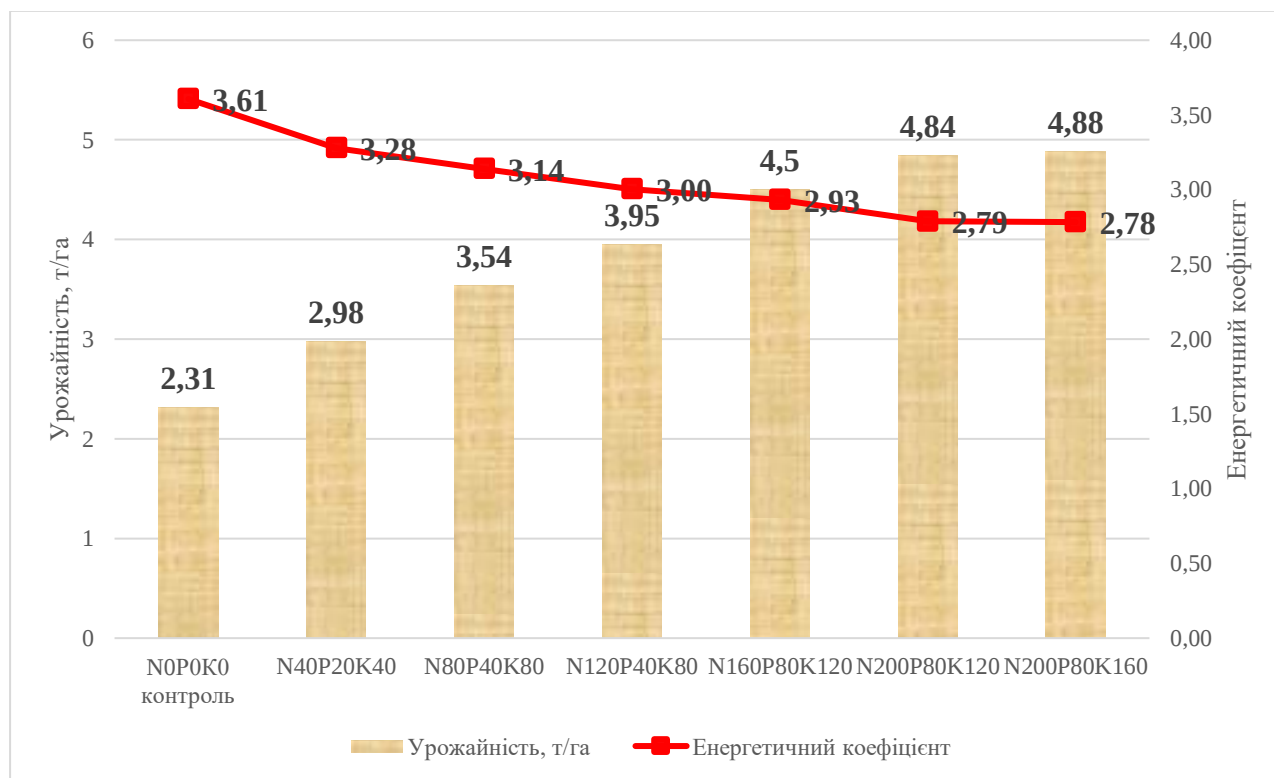


Рис. 9.5 Енергетичний коефіцієнт вирощування амаранту сорту Харківський 1 за рівня мінерального удобрення $N_{200}P_{80}K_{160}$.

Зниження енергетичного коефіцієнта на 23 % при максимальній інтенсифікації удобрення підтверджує закономірність: надмірне підвищення доз мінеральних добрив знижує біоенергетичну ефективність технології вирощування.

Висновки до розділу 9

1. Чистий прибуток був найвищим у сорту Харківський 1 і становив 56305 грн, а найменшим у сорту Ультра – 4805 грн. У сорту Студентський цей показник був на рівні 16814 грн, у сорту Лера – 37555 грн, Ацтек – 10305 грн, Сем – 24055 грн, Поліщук – 10805 грн. Рівень рентабельності коливався від 11 % до 127 %.

2. На основі експериментальних матеріалів та проведених розрахунків встановлено найкращі показники економічної ефективності за найвищої врожайності (4,88 т/га) на варіанті з рівнем удобрення $N_{200}P_{80}K_{120}$: чистий прибуток становив 70813 грн. Рівень рентабельності в дослідженнях коливався в межах 134-149 %.

3. За показниками продуктивності (урожайність, приріст енергії) в технології вирощування амаранту оптимальними є застосування високих норм добрив: $N_{160}P_{80}K_{120}$, $N_{200}P_{80}K_{120}$, $N_{200}P_{80}K_{160}$. За результатами встановлення енергетичної ефективності (енергоємність, енергетичний коефіцієнт) більш доцільно застосовувати помірні норми мінеральних добрив $N_{80}P_{40}K_{80}$ і $N_{120}P_{40}K_{80}$.

4. Максимальну продуктивність забезпечила норма мінерального удобрення $N_{200}P_{80}K_{160}$: урожайність становила 4,88 т/га за енергетичного коефіцієнту 2,78.

За матеріалами даного розділу автором опубліковано наукові праці [177, 178].

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі досліджено, теоретично узагальнено та вирішено наукове завдання, що виявляється у встановленні закономірностей формування продуктивності та удосконаленню елементів технології вирощування амаранту зернового в умовах Лісостепу західного на темно-сірому опідзоленому легкосуглинковому ґрунті. Встановлено залежності умов росту, розвитку та продуктивності культури у підвищенні врожайності і якості зерна амаранту, визначено найбільш оптимальні параметри сівби і рівні мінерального удобрення. Науково обґрунтовано доцільність використання вегетативної маси амаранту як сидерального добрива та фіторемедіанта.

1. Тривалість вегетаційного періоду визначалася сортовими особливостями досліджуваних сортів амаранту. Кліматичні умови в роки досліджень сильно впливали на тривалість періоду сівба-сходи. Тривалість наступних фаз вегетації амаранту змінювалось залежно від норм внесення мінеральних добрив і сортових особливостей досліджуваних сортів: на 2 - 20 днів у сорту Лера і на 2 – 15 днів у сорту Ультра. Вищі норми добрив, особливо азотних, подовжували вегетацію.

2. Встановлено тісний взаємозв'язок між агротехнічними чинниками та польовою схожістю, виживаністю і густотою рослин. Виявлено, що підвищення норм мінерального удобрення суттєво знижує польову схожість ($r = -0,99$), особливо при високих дозах ($N_{200}P_{80}K_{160}$). Аналогічна негативна тенденція спостерігалася зі збільшенням норм висіву ($r = -0,97$). Максимальної виживаності рослин (86–90 %) досягнуто за норми висіву 0,2 млн схожих насінин/га та сівбі в пізні строки (червень–липень).

3. Установлено, що елементи структури врожаю мають ключовий вплив на врожайність. Основним показником, що визначає рівень врожайності, є маса насіння з однієї рослини ($r = 0,99$). Висота рослин також мала позитивну кореляцію ($r = 0,63$), тоді як довжина волоті — слабо негативну ($r = -0,36$). Це дозволяє обґрунтовано коригувати технологію вирощування для формування найбільш ефективної структури посіву. Оптимальні елементи структури врожаю (20 рослин/м² і маса насіння з рослини 19,7 - 23,1 г) для реалізації потенціалу

продуктивності найурожайніших сортів Лера і Харківський 1, були сформовані за норми висіву 0,4 млн/га. Врожайність інших досліджуваних сортів зростала із загущенням посівів.

4. Виявлено сортову реакцію амаранту на умови вирощування та систему удобрення. Сорт Харківський 1 продемонстрував найвищу адаптивність до умов західного Лісостепу та відзначався стабільно високою урожайністю зерна до 4,88 т/га, вегетативної маси до 88 т/га, вмістом білка 19,2 %, олії 7,8 % та сквалену до 7,5 %. Урожайність зростала пропорційно до норм добрив, найбільш суттєво — за рівня удобрення $N_{200}P_{80}K_{120}$. Разом з тим, встановлено, що ефективність калійних добрив була нижчою порівняно з азотними.

5. Установлено, що урожайність досліджуваних сортів амаранту зменшувалась у роки з надмірним зволоженням у першій половині вегетації. Так, у 2019–2020 роках урожайність знижувалась до 1,37 – 3,67 т/га, тоді як у 2021 році за помірного вологозабезпечення вона досягала 2,46 - 4,35 т/га.

6. Визначено оптимальні норми висіву для сортів амаранту залежно від біоморфологічних особливостей. Зниження норми висіву сорту Харківський 1 та Лера до 0,4 млн/га сприяє формуванню більших елементів структури врожаю (маса насіння з рослини — до 34 г), що у поєднанні з оптимальною густотою стояння 20–21 рослина/м² забезпечує максимальну продуктивність. Загущення посівів призводить до зниження маси 1000 насінин і зменшення індивідуальної продуктивності рослин, особливо в сортів Харківський 1, Лера, Сем із потужною вегетативною масою.

7. Урожайність зерна амаранту змінювалась під впливом норм висіву. В умовах достатнього зволоження амарант негативно реагував на вищі норми висіву і, відповідно, загущення посівів. Найвищу врожайність одержано в амаранту сорту Харківський 1 з нормою висіву 0,4 млн/га – 4,63 т/га. Оптимальні норми висіву для сортів амаранту є такі: Харківський 1, Лера і Студентський – 0,4-0,6 млн/га; сорт Сем – 0,6-0,8 млн/га; сорт Ацтек – 0,6 – 1,0 млн/га; сорт Ультра – 0,8 – 1,2 млн/га. Збільшення чи зменшення норми висіву для конкретного сорту призводить до зниження рівня врожайності.

8. Елементи структури продуктивності амаранту впливали на формування врожайності зеленої маси досліджуваних сортів амаранту. Найвищі показники висоти і маси рослин були у сорту Харківський 1, що забезпечило найбільшу врожайність серед досліджуваних сортів – 25-82 т/га, залежно від варіанту удобрення. На вміст елементів живлення в зеленій масі мали вплив сортові особливості амаранту. Найбільшим вмістом елементів живлення (азоту, фосфору, калію) характеризувався сорт Студентський за природної родючості ґрунту – 8,44 % і 8,31 % на абсолютно суху речовину - за норми мінеральних добрив $N_{200}P_{80}K_{120}$.

9. Науково обґрунтовано ефективність використання зеленої маси амаранту як сидерального добрива. Сорти Харківський 1, Лєра та Студентський формували велику біомасу (до 88 т/га) з високим вмістом NPK. Використання їх вегетативної маси як сидератів за природної родючості ґрунту сприяє поверненню до ґрунту в межах 353 – 423 кг/га діючих речовин (азот, фосфор, калій), а за рівня удобрення $N_{200}P_{80}K_{120}$ - до 1505,6 кг/га, що дозволяє поліпшити агрохімічні показники ґрунту та зменшити потребу в мінеральному удобренні наступних культур.

10. Визначено вплив основних елементів технології на якісні показники зерна амаранту. Залежно від сорту, врожайності та умов живлення, вміст білка у зерні коливався від 16,2 % до 19,2 %, олії — від 5,0 % до 8,2 %, сквалену — від 6,0 % до 7,5 %. Найкращі показники поєднання високого білкового та олійного вмісту з високою врожайністю отримано у сорту Харківський 1. Мінеральне удобрення сприяло підвищенню вмісту білку на 2,7 %, натомість вміст вуглеводів та натура зерна знижувалися зі збільшенням норми добрив.

11. За вмістом жирних кислот у олії всі сорти амаранту мали найбільшу кількість лінолевої кислоти - 40,2-51,8 %, олеїнової - 25,6-37,1 % та пальмітинової - 17,6-19,2 %. Серед сортів найвищий вміст лінолевої кислоти був у сортів Ацтек (51,8 %), Ультра (49,6 %) та Лєра (47,1 %), що більше порівняно з іншими сортами на 7-11 %. Найбільшим вмістом олеїнової кислоти характеризувались сорти Харківський 1 - 37,1 % , Студентський - 36,7 % та Сем

- 35,8 %, переважаючи інші сорти на 9-11 %. Вміст пальмітинової кислоти був значно нижчий, ніж лінолевої та олеїнової і мало залежав від сорту, коливаючись у невеликому діапазоні (17,6-19,2 %). Вміст ліноленової кислоти був низьким, у межах 0,4-1,3 %. Також виявлено невелику кількість арахідонової та ейкозенової кислот.

12. Проведені польові дослідження дозволили встановити ефективне поєднання оптимальних основних елементів технології: - сорти Харківський 1 і Лєра; - норма мінеральних добрив - $N_{200}P_{80}K_{120}$; – строки сівби — 30 квітня (допустимі строки знаходяться в діапазоні від 15 квітня до 15 травня); – глибина загортання насіння — 2 см (за пересихання ґрунту допустимо 3 см); – ширина міжрядь — 30 см; – густота стояння рослин — 20–26 шт/м². Ці параметри забезпечують найкращі умови формування структури врожаю та сприяють реалізації потенціалу продуктивності сортів.

13. Обґрунтовано можливість застосування гербіцидів із мінімальним фітотоксичним ефектом. Всі досліджувані гербіциди Бетанал Макс Про (phenmedipham, 60 + desmedipham, 47 + etofumesate, 75 + lenacil, 27) (післясходово); Штефам (phenmedipham, 320) (післясходово); Гезагард (prometrin, 500) (досходово); Команд (clomazone, 480) (досходово); Карібу (triflusaluron-methyl, 500) (післясходово); Лонтрел Гранд (clopyralid, 750) (післясходово) були ефективні щодо контролю бур'янів, але внаслідок стресового впливу також на рослини амаранту спричинювали зменшення його врожайності на 0,40-1,37 т/га. Найбільш безпечним і ефективним виявився препарат Гезагард (prometrin 500), тоді як решта досліджуваних засобів знижували урожайність. Застосування біологічного методу контролю бур'янів забезпечило найвищу врожайність — 3,21 т/га.

14. Ефективність інсектицидів проти попелиць та хрестоцвітих блішок залежала від діючої речовини та строку застосування. Найвищу технічну ефективність (>85 %) проти основних шкідників (попелиці, хрестоцвіті блішки) показали Енжіо 24,7 % к. с. та Актара 2,5 % в. г. Це дозволяє оптимізувати систему інтегрованого захисту амаранту з урахуванням економічного порогу

шкодочинності. Для знищення слимаків в посівах амаранту можливо використовувати моллюскоциди з діючими речовинами метальдегід та метіокарб (меркаптодіметур).

15. Встановлено ефективність застосування фунгіцидних препаратів на початку фази бутонізації, що містять у своєму складі дві діючі речовини — з групи триазолів та стробілуринів Аканто Плюс, 28 % к.с. і Амістар Екстра, 28 % к.с в нормі 0,5 л/га.

16. Оцінено економічну та енергетичну ефективність вирощування амаранту залежно від досліджуваних факторів. Найвищу економічну ефективність забезпечила норма мінерального удобрення $N_{200}P_{80}K_{120}$: чистий прибуток — 70 813 грн/га, рентабельність — 149 % за урожайності зерна — 4,88 т/га). Енергетична ефективність була оптимальною за внесення помірних норм добрив ($N_{120}P_{40}K_{80}$), де енергетичний коефіцієнт становив 2,78. Таким чином, вирощування амаранту за науково обґрунтованою технологією є рентабельним і енергозберігаючим.

17. За результатами досліджень встановлено, що амарант характеризується високим виношенням з ґрунту радіонуклідів та важких металів з урожаєм. Найвищий коефіцієнт накопичення, як у вегетативній масі так і зерні амаранту, спостерігався по Th_{232} , який складав 4,3 та 1,33 відповідно. Серед важких металів найвищим коефіцієнтом накопичення у вегетативній масі виявлено по Zn (3,3), а у зерні — Cu (4,9). З кожного гектару посівної площі з урожаєм амаранту (вегетативна маса і зерно) виноситься з ґрунту 2268400 Бк - K_{40} , 1084870 Бк - Ra_{226} , 2134110 Бк - Th_{232} , 8968 мг — Cd, 238130 мг — Zn та 77281 мг — Cu. Найвищий рівень виношення з ґрунту з урожаєм амаранту спостерігається по K_{40} та Zn.

ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ:

За результатами проведення комплексних науково-теоретичних, польових і лабораторних досліджень, аналізу та виробничої перевірки, а також на основі економічної оцінки та енергетичної в умовах Лісостепу західного на темно-сірому опідзоленому легкосуглинковому ґрунті для отримання врожайності зерна амаранту в процесі вирощування на рівні 5 т/га, вмісту білка 19,5 % та олійності 8,2 % рекомендується:

- вирощувати сорти Харківський 1 та Лера;
- застосовувати мінеральні добрива в нормі $N_{200}P_{80}K_{160}$;
- дотримуватися норми висіву 0,4 млн/га схожих насінин;
- спосіб сівби за ширини міжрядь 15, 30, 45 см;
- глибина загортання насіння 2 см;
- строк сівби – третя декада квітня;
- використовувати досходово гербіциди групи тріазинів (прометрин 500 г/л к.с. в нормі 2 л/га), як альтернативу агротехнічним заходам боротьби з бур'янами при вирощуванні амаранту за інтенсивною технологією;
- застосовувати засоби захисту рослин амаранту: фунгіциди групи стробілуринів і триазолів (пікоксистробін, азоксистробін, ципроконазол 28 % к.с. в нормі 0,5 л/га); інсектициди групи піретроїдів і неонікотиноїдів (лямбда-цигалотрин, тіаметоксам 24,7 % к.с. в нормі 0,2 л/га); молюскоциди з діючими речовинами метальдегід та метіокарб в нормі 4-5 кг/га.
- використовувати вегетативну масу амаранту сорту Харківський 1 в якості сидерату шляхом приорювання біомаси при досягнення укісної стиглості при настанні фази цвітіння.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Агрогрунтознавство : навч. посіб. / В. І. Лопушняк та ін. Львів : ЛНАУ, 2016. 212 с.
2. Агрохімія : підручник / М. М. Городній та ін. ; за ред. М. М. Городнього. Київ : [б. в.], 1995. 526 с.
3. Агрохімія : підручник / М. М. Городній та ін. Київ : ТОВ "Алефа", 2003. 778 с.
4. Адаменко Т. І. Зміна клімату та сільське господарство в Україні: що варто знати фермерам? [Електронний ресурс]. Київ : Німецько-український агрополітичний діалог, 2019. 36 с. URL: https://www.apd-ukraine.de/fileadmin/user_upload/Hanbuecher/Zmina_klimatu_v_Ukrajini_web3.pdf (дата звернення: 24.07.2025). Амарант – золотonosна рослина для ланів України. *AgroNews*. URL: <https://agronews.ua/news/amarant-zolotonosna-roslyna-dlia-laniv-ukrainy/> (дата звернення: 27.02.2023).
5. Андрущенко О. Л. Біоекологічна безпека вирощування щириці (*Amaranthus L.*). *Світові рослинні ресурси: стан та перспективи розвитку* : матеріали V міжнародної конференції Українського інституту експертизи сортів рослин (7 червня 2019 р., м. Київ). Вінниця : ТОВ «ТВОРИ», 2019. С. 254–255.
6. Андрущенко О. Л. Морфологобіологічні особливості видів роду *Amaranthus L.* у зв'язку з інтродукцією в лісостепу України : автореф. дис... канд. біол. наук : 03.00.05 / НАН України, Нац. ботан. сад ім. М. М. Гришка. Київ, 2009. 20 с.
7. Аріон О. В., Купач Т. Г., Дем'яненко С. О. Географія ґрунтів з основами ґрунтознавства : навчально-методичний посібник. Київ, 2017. 226 с.
8. Безугла Л. С. Економічний аспект територіального виробництва амаранту, коноплі та сорго в Україні. *Економіка та суспільство*. 2021. Вип. 25. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-25-79>
9. Бегацький Ю. С., Антонів С. Ф., Рудницький Б. О. Ефективність вирощування амаранту волотистого на насіння залежно від удобрення та ширини міжрядь. *Проблеми вирощування, переробки і використання амаранту на*

кормові, харчові і інші цілі : матеріали I Всеукр. наук.-практ. конф., м. Вінниця, 1995 р. Вінниця, 1995. С. 34.

10. Білєра Н. О. Калій – елемент якості. *Агроном*. 2017. № 3. С. 24–27.

11. Борона В. П., Карасевич В. В. Шкідливість бур'янів і боротьба з ними в посівах амаранту. *Проблеми вирощування, переробки і використання амаранту на кормові, харчові і інші цілі* : матеріали Першої Всеукр. наук.-практ. конф. Вінниця, 1995. С. 63–64.

12. Бугайов В. Д., Бабич А. О., Каправий В. В. Результати та методи селекційної роботи з амарантом. *Перша всеукраїнська науково-практична конференція по проблемі вирощування, переробки і використання амаранту на кормові, харчові і інші цілі*. Київ, 1995. С. 10–13.

13. Важненко Г. М. Який сорт амаранту вибрати для високого врожаю. *Асоціація виробників амаранту*. 2018. 11 груд. URL: [<https://surl.li/bcyric>] (дата звернення: 11.07.2025).

14. Валентюк Н. О. Удосконалення технології післязбиральної обробки та зберігання зерна амаранту : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.18.02 - технологія зернових, бобових, круп'яних продуктів і комбікормів, олійних та луб'яних культур. Одеса, 2019. 23 с.

15. Валентюк Н. О., Юркевич Е. О., Когут І. М. Елементи технології вирощування амаранту і післязбиральної обробки зерна амаранту. *Таврійський науковий вісник*. 2021. № 122. С. 167–173. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.122.24>

16. Васильєва Ю. В., Станкевич С. В. Захистити амарант. *Farmer*. 2019. № 3 (111). С. 154–156.

17. Васильєва Ю. В., Станкевич С. В. Перспективи вирощування амаранту в Україні та оптимізація його хімічного захисту від шкідливих організмів. *Аграрник*. 2019. № 4 (335). С. 22–23.

18. Ведмедєва К. В., Махова Т. В., Левченко В. І. Перспективи використання амаранту *Amaranthus caudatus* як олійної культури на півдні

України. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН*. 2021. № 31. С. 33–45. <https://doi.org/10.36710/ioc-2021-31-04>

19. Вишнівський П. С., Кравчук Т. В. Вміст важких металів у фітомасі амаранту при вирощуванні в умовах Полісся України. *Таврійський науковий вісник: землеробство, рослинництво, овочівництво та баштанництво*. 2022. № 128. С. 52–57. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.128.7>

20. Войташенко Д. П. Вплив зрошення та мінеральних добрив на хімічний склад рослин амаранту. *Зрошуване землеробство* : збірник наукових праць. Херсон : Айлант, 2011. Вип. 56. С. 157–163.

21. Войташенко Д. П. Вплив умов зволоження та рівня мінерального живлення на врожайність зерна амаранту в умовах південного Степу. *Зрошуване землеробство* : збірник наукових праць. Інститут землеробства південного регіону УААН. Херсон : Айлант, 2005. Вип. 44. С. 45–49.

22. Войташенко Д. П. Оптимізація елементів технології вирощування амаранту зернового напрямку в умовах південного Степу України : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.01.09. Херсонський держ. аграр. ун-т. Херсон, 2008. 16 с.

23. Войташенко Д. П. Продуктивність амаранту зернового напрямку залежно від умов зволоження та норм мінеральних добрив. *Зрошуване землеробство* : збірник наукових праць. Інститут землеробства південного регіону УААН. Херсон : Айлант, 2006. Вип. 45. С. 48–52.

24. Войташенко Д. П., Лавренко С. О. Вплив строку сівби на ріст і розвиток рослин амаранту зернового напрямку в умовах півдня України. *Таврійський науковий вісник*. Херсон : Айлант, 2006. Вип. 44. С. 89–93.

25. Воропай Г. В., Молеца Н. Б., Мозоль Н. В., Стецюк Н. Г., Зосимчук М. Д. Основні технологічні параметри вирощування високопродуктивних кормових культур на осушуваних землях гумідної зони України. *Меліорація і водне господарство*. 2020. № 2. С. 89–100. DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202002-261>

26. Гаськевич В., Лемежа Н., Віщур А. Темно-сірі опідзолені ґрунти Чижиківського пасма: проблеми деградації та охорони. *Вісник Львівського*

27. Геренчук К. І. Лісостепові опідзолені ґрунти Львівської області. Чорноземи. *Природа Львівської області*. URL: https://geoknigi.com/book_view.php?id=668 (дата звернення: 14.07.2025).

28. Гопцій Т. І. Амарант – культура великих можливостей. *Пропозиція*. 1997. № 10. С. 18–19.

29. Гопцій Т. І., Воронков М. Ф., Бобро М. А. та ін. *Амарант: селекція, генетика та перспективи вирощування* : монографія. Харків : Харківський національний аграрний університет, 2018. 362 с.

30. Гопцій Т. І., Воронков М. Ф., Жулай М. Е. Перспективи використання амаранту в кормовиробництві. Проблеми вирощування, переробки і використання амаранта на кормові, харчові і інші цілі : матеріали І Всеукр. наук.-практ. конф., м. Вінниця, 1995 р. Вінниця, 1995. С. 87.

31. Гопцій Т. І., Воронков М. Ф., Кіптенко Г. І. Якість зерна амаранту та способи її поліпшення. Матеріали І наук.-практ. конф., м. Вінниця, 1993 р. Вінниця, 1993. С. 38.

32. Гопцій Т. І. Агроекологічні й агротехнічні основи введення амаранту в культуру в Лівобережному Лісостепу України : автореф. дис... д-ра с.-г. наук : 06.01.09. Ін-т цукр. буряків УААН. Київ, 2004. 38 с.

33. Гопцій Т. І., Лєвченко Н., Соколова К. Морфологічні особливості й біологічні основи введення в культуру амаранта в умовах Лівобережного Лісостепу України. *Вісник Харківського національного аграрного у-ту. Сер. Рослинництво, селекція і насінництво*. Харків, 2002. № 6. С. 36–51.

34. Гопцій Т. І., Лиманська С. В., Гудим О. В. Перспективи вирощування амаранту як нішевої культури у східній частині лівобережного Лісостепу. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2022. № 2. С. 11–17.

35. Горбенко І. Я., Шуль Д. І., Лук'яненко Л. І. Вплив мінеральних добрив та строків скошування на хімічний склад і поживність зеленої маси амаранту. *Проблеми вирощування, переробки і використання амаранту на*

кормові, харчові і інші цілі : матер. І Всеукр. наук.-практ. конф. Вінниця, 1995. С. 56–57.

36. Горобець Н. М. Особливості управління бізнес-процесами в системі збуту нішевої рослинницької продукції. *Агросвіт*. 2018. № 5. С. 28–34.

37. Господаренко Г. М. *Агрохімія* : підручник. Київ : Аграрна освіта, 2013. 406 с.

38. Грюнвальд Н. Вирощування амаранту в Україні. Історія, стан і перспективи. *Věda a perspektivy*. 2022. № 5 (12). С. 162–179. DOI: [https://doi.org/10.52058/2695-1592-2022-5\(12\)-162-179](https://doi.org/10.52058/2695-1592-2022-5(12)-162-179).

39. Грюнвальд Н. Історична ретроспектива селекційної роботи з амарантом в Україні (80–90-ті рр. XX ст.). *Науково-теоретичний альманах Грані*. 2022. Т. 25, № 5. С. 35–40. DOI: <https://doi.org/10.15421/172258>.

40. Гудзь В. П., Примак І. Д., Будьонний Ю. В., Танчик С. П. *Землеробство*. Київ : Центр учбової літератури, 2010. 464 с.

41. Гудковська Н. Б. Вплив агротехнічних та екологічних факторів на польову схожість насіння амаранту (*Amaranthus l.*) в лівобережному Лісостепу України. *Рослинний світ України: теоретичні і прикладні аспекти вивчення і освоєння у виробництві основних і малопоширених видів (сільськогосподарські і біологічні науки)* : матеріали всеукр. наук.-практ. конф. (у рамках І-го наук. форуму «Науковий тиждень у Крутах – 2016», 23–24 березня 2016 р., с. Крути, Чернігівська обл.) / ДС «Маяк» ІОБ НААН. Ніжин : ПП Лисенко М. М., 2016. С. 30–34.

42. Гудковська Н. Б. Жирнокислотний склад зерна амаранту вирощеного в умовах Лівобережного Лісостепу України. *Вісник Львівського національного аграрного університету*. 2017. № 21. С. 76–84.

43. Гудковська Н. Б. Фотосинтетичний потенціал рослин амаранту залежно від строків сівби в умовах лівобережного Лісостепу України. *Основні, малопоширені і нетрадиційні види рослин – від вивчення до освоєння* : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 16 березня 2017 р., с. Крути, Чернігівська обл. 2017. Т. 1. С. 82–86.

44. Гудковська Н. Б., Гопцій Т. І. Вплив строків сівби на схожість насіння амаранту в умовах лівобережного Лісостепу України. *Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія "Рослинництво, селекція і насінництво, плодоовочівництво і зберігання"*. 2016. Вип. 1. С. 194–204.
45. Гудковська Н. Б., Гопцій Т. І. Врожайність зерна амаранту (*Amaranthus*) залежно від площі листкової поверхні в умовах лівобережного Лісостепу України. *Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія «Рослинництво, селекція і насінництво, плодоовочівництво і зберігання»*. 2016. Вип. 2. С. 194—204.
46. Гудковська Н. Б., Гопцій Т. І. Урожайність зерна амаранту залежно від строків та способів сівби в умовах лівобережного Лісостепу України. *Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія «Рослинництво, селекція і насінництво, плодоовочівництво і зберігання»*. 2018. Вип. 2. С. 112—124.
47. Гуніна Л. М., Дмитрієв А., Шустов Є. Б. Біологічно активні речовини амаранту та перспективи застосування харчових добавок на його основі в практиці підготовки спортсменів. *Український журнал медицини, біології та спорту*. 2018. Т. 3, № 7 (16). С. 267–277.
48. Гусєв М. Г., Войташенко Д. П. Продуктивність амаранту зернового напрямку залежно від способу сівби та норми висіву. *Зрошуване землеробство : зб. наук. пр. / Ін-т землеробства південного регіону УААН. Херсон : Айлант, 2006. Вип. 46. С. 109—112.*
49. Гусєв М. Г., Войташенко Д. П., Кифорук В. В. Особливості розвитку та формування надземної маси амаранту залежно від строку сівби в умовах Південного Степу України. *Корми і кормовиробництво*. 2009. № 64. С. 104—109.
50. Дейнега А. К. Амарант культура ХХІ століття. Амарант України, 2022. 42 с.
51. Демидась Г. І., Слюсар І. Е. Нетрадиційні кормові культури. Київ : НУБІП, 2019. 190 с.

52. Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2021 рік. С. 339. URL: <https://minagro.gov.ua/storage/app/uploads/public/619/f7c/16b/619f7c16b87c8524959909.pdf> (дата звернення: 06.12.2021).
53. Добрива та їх використання / І. У. Марчук та ін. Київ : Юнівест Маркетинг, 2016. 246 с.
54. ДСТУ 4115:2002. Ґрунти. Методи визначення рухомих сполук фосфору і калію за Чириковим у модифікації Цинао. Київ : Держспоживстандарт, 2003.
55. ДСТУ 4233:2003. Зернові культури. Визначання об'ємної щільності, так званої маси на гектолітр (Контрольний метод) (ISO 7971:1986, MOD). [Чинний від 2004-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2003.
56. ДСТУ 7213:2011. Зерно амаранту. Технічні умови. [Чинний від 2012-01-01]. Київ : Мінекономрозвитку України, 2011.
57. ДСТУ 7577:2014 Насіння олійне. Визначання вмісту олії методом екстракції в апараті Сокслета. [Чинний від 2015-05-01]. Київ : Мінекономрозвитку України, 2015.
58. ДСТУ ISO 13690:2003. Зернові, бобові та продукти їх помелу. Відбір проб (ISO 13690:1999, IDT). [Чинний від 2005-07-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2003. 18 с.
59. ДСТУ ISO 5983 :2003 . Корми для тварин. Визначення вмісту азоту і обчислення вмісту сирого білка. Метод К'ельдаля (ISO 5983 :1997 , IDT). [Чинний від 2004-10-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2003.
60. ДСТУ ISO 6496:2005. Корми для тварин. Визначення вмісту вологи та інших летких речовин (ISO 6496:1999, IDT). [Чинний від 2005-10-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2005.
61. ДСТУ ISO 6799-2002 Жири та олії тваринні і рослинні. Визначання складу стеринової фракції. Газохроматографічний метод (ISO 6799:1991, IDT). [Чинний від 2003-01-04]. Київ : Держспоживстандарт України, 2002.

62. ДСТУ ISO 7485:2003 Корми для тварин. Визначення вмісту калію і натрію. Методи з використанням полуменево-емісійної спектрометрії (ISO 7485:2000, IDT). [Чинний від 2004-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2003.
63. ДСТУ ГОСТ 30418-96. Масла рослинні. Метод визначення жирнокислотного складу [Електронний ресурс]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 1999. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=91678 (дата звернення: 24.07.2025).
64. Дослідна справа в агрономії: навч. посібник: у 2 кн. Кн. 1. Теоретичні аспекти дослідної справи / А. О. Рожков, В. К. Пузік, С. М. Каленська та ін.; за ред. А. О. Рожкова. Харків: Майдан, 2016. 316 с.
65. Дуда О. Амарант – золотоносна рослина для полів України. *Agronews*. 2019. 2 квіт.
66. Дуда О. Амарант: як вирощувати, чим збирати та скільки коштує технологія? *Superagronom.com*. 2022. URL: <https://superagronom.com/blog/874-amarant-yak-viroschuvati-chim-zbirati-ta-skilki-koshtuye-tehnologiya> (дата звернення: 03.03.2023).
67. Дуда О. М. Технологія вирощування амаранту. Асоціація Інтернет. URL: <http://amaranth-association.com/tehnologiya-viroschuvannya-amarantu/> (дата звернення: 08.01.2022).
68. Дуда О., Капштик М. Захист амаранту від бур'янів, шкідників і хвороб. *Пропозиція*. 2021. URL: <https://propozitsiya.com/ua/klyuchovi-elementy-tehnologiyi-vyroshchuvannya-amarantu> (дата звернення: 03.03.2023).
69. Дуда О., Капштик М. Ключові елементи вирощування амаранту. *Пропозиція*. 2021. URL: <https://propozitsiya.com/ua/klyuchovi-elementy-tehnologiyi-vyroshchuvannya-amarantu> (дата звернення: 03.03.2023).
70. Дудка М. І. Агротехнічна і економічна ефективність вирощування амаранту волотистого (*Amaranthus paniculatus* L.) на зелений корм в північному Степу України. *Зернові культури*. 2019. Т. 4, № 2. С. 293—304.

71. Дудка М. І. Агротехнологічні основи підвищення продуктивності однорічних кормових культур в північному Степу України : дис. ... д-ра с.-г. наук : 06.01.09. Дніпро, 2020. 480 с.
72. Дудка М. І. Вирощування амаранту волотистого (*Amaranthus paniculatus*) в умовах північного Степу України. *Зернові культури*. 2019. Т. 3, № 1. С. 52—61. DOI: 10.31867/2523-4544/0060.
73. Дудка М. І. Вирощування амаранту волотистого на зелений корм. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2019. Вип. 95, ч. 1. С. 90—104.
74. Дудка М. І. Вплив способу сівби, норми висіву і рівня мінерального живлення на продуктивність амаранту волотистого. *Рослинництво і ґрунтознавство*. 2020. Т. 11, № 1. С. 23—32. DOI: 10.31548/agr2020.01.023.
75. Дудка М. І. Вплив строків збирання амаранту на його насінневу продуктивність в умовах північного Степу України. *Бюлетень Інституту зернового господарства УААН*. 2001. № 17. С. 76—77.
76. Дудка М. І. Перспективи використання амаранту в кормовиробництві північного Степу України. Селекція, насінництво, технології вирощування круп'яних та інших сільськогосподарських культур: досягнення і перспективи : зб. наук. пр. II міжнар. наук.-практ. конф., м. Кам'янець-Подільський, 25—26 квіт. 2016 р. / ПДАТУ. Тернопіль : Крок, 2016. С. 233—236.
77. Екологія та біологія сільськогосподарських рослин : підручник / В. Д. Паламарчук та ін. Вінниця : ФОП Рогальська І. О., 2013. 724 с.
78. Єщенко В. О., Копитко П. Г., Костогриз П. В., Опришко В. П. Основи наукових досліджень в агрономії / за ред. В. О. Єщенка. Вінниця : ПП «ТД «Едельвейс і К»», 2014. 332 с.
79. Задорожна І. С. З історії дослідження малопоширених кормових культур в Україні. URL: http://base.dnsgb.com.ua/INB/2011-3/11_zadorozhna.pdf (дата звернення: 15.03.2021).
80. Зінченко О. І., Салатенко В. Н., Білоножко М. А. Рослинництво : підручник. Київ : Аграрна освіта, 2003. 591 с.

81. Кадыров Р. М., Стурюа А. В. Зерновой амарант – перспективная культура. *Аграрная наука*. 2008. № 3. С. 15—16.
82. Каленська С. М., Рахметов Д. Б. та ін. Енергетичні та сировинні рослинні ресурси. Київ : НУБіП України, 2022. 274 с.
83. Когут, І. М., Когут, С. Г. Вплив загущення на інтенсивність росту та розвитку рослин амаранту у південному Степу. *Таврійський науковий вісник : серія землеробство, рослинництво, овочівництво та баштанництво*. 2013. № 86. С. 39-42.
84. Когут, І. М., Мішин, С. М., Когут, С. Г. Вплив строків сівби на умови росту, розвитку та продуктивність рослин амаранту в умовах Південного Степу. *Аграрний вісник Причорномор'я* : Одеський ДАУ. Одеса, 2016. Вип. 79. С. 35-40.
85. Когут, С. Г. Олійність амаранту залежно від розміру та форми площі живлення. *Науковий збірник Кіровоградської ДСДС УААН «Вісник Степу»*. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених і спеціалістів «Стан та перспективи розвитку агропромислового виробництва в сучасних умовах», 15-17 березня 2005 року. Кіровоград, 2005. С. 64-68.
86. Когут, С. Г. Оптимізація заходів посівного комплексу амаранту в умовах південного Степу : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.01.09. Херсон. держ. аграр. ун-т. Херсон, 2006. 16 с.
87. Когут, С. Г. Реакція рослин амаранту на глибину загортання насіння. *Научные труды Крымского ГАУ*. Симферополь, 2005. Вып. 91. С. 17-20.
88. Когут, С. Г., Яковенко, Т. М. Оптимізація строків сівби амаранту в умовах південного Степу. *Таврійський науковий вісник : зб. наук. пр. Херсон : Айлант*, 2006. Вип. 43. С. 53-58.
89. Когут, С. Г., Яковенко, Т. М. Фотосинтетична діяльність рослин та продуктивність амаранту в залежності від норм висіву насіння. *Наукові праці Полтавської ДАА*. Полтава, 2005. Т. 4, вип. 23. С. 255-257.
90. Кононенко Л. М. Формування продуктивності амаранту залежно від строків сівби у Правобережному Лісостепу України. *Новітні агротехнології*. 2022. Т. 10, № 2. DOI: <https://doi.org/10.47414/na.10.2.2022.270470> .

91. Коць С. Я., Петерсон Н. В. Мінеральні елементи і добрива в живленні рослин. 2-ге вид., перероб., допов. Київ : Логос, 2009. 182 с.
92. Кравцов О. В., Юркевич Є. О., Валентюк Н. О. Зерновий амарант – напрямки використання та перспективи вирощування в південному Степу України. *Аграрна наука: стан та перспективи розвитку*. Збірник матеріалів II Всеукраїнської науково-практичної конференції, 24-25 листопада 2022 року. Одеса : ОДАУ, 2022. С. 67-71.
93. Краснєнков С. В., Дудка М. І., Черенкова Т. П. Вплив норм мінеральних добрив на насінневу продуктивність амаранту. *Корми і кормовиробництво*. 2004. Вип. 53. С. 103-106.
94. Кривий М. М., Горчанок А. В., Кузьменко О. А., Васільєв Р. О., Діхтяр О. О. Біологічна цінність зеленої маси амаранту та її використання у складі комбінованих силосів для молодняку свиней. *Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва*. 2023. № 1. С. 57-66. doi: 10.33245/2310-9289-2023-178-1-57-66
95. Криворученко, О. М., Гопцій, Т. І., Воронов, М. Ф. Вихідний матеріал для створення сортів олійного амаранту. *Современные вопросы создания и использования сортов и гибридов масличных культур* : сб. тезисов международной конференции. Запорожье, 2002. С. 23.
96. Куцела, О. Я., Буняк, В. І., Кульбанська, С. М. Особливості онтогенезу *Amaranthus paniculatus* L. в умовах дендрологічного парку «Дружба». *Вісник Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника. Серія Біологія*. Івано-Франківськ, 2008. № 12. С. 45-47. URL: <http://hdl.handle.net/123456789/18041>
97. Ланиця, І. Ф. Дослідження високобілкової рослинної сировини - амаранту в контексті товарознавчих властивостей посічених напівфабрикатів. *Вісник Львівського торговельно-економічного університету. Серія Технічні науки*. Львів, 2020. № 24. С. 75-79.

98. Ланиця, І. Ф. Удосконалення товарознавчих властивостей посічених м'ясних напівфабрикатів з використанням продуктів переробки зерна амаранту : дис. ... канд. тех. наук : 05.18.15. Львів. торгово-економ. у-т. Львів, 2021. 225 с.
99. Лебідь, Л. В. Україні понад 50 підприємств займаються переробкою амаранту. найпоширеніший продукт – олія. *AgroPortal.ua*. URL: <https://agroportal.ua/publishing/lichnyi-vzglyad/v-ukrajini-ponad-50-pidpriyemstv-zaumayutsya-pererobkoju-amarantu-nauposhirenishiy-produkt-oliya> (дата звернення: 24.02.2023).
100. Леженіна, І. П., Карпенко, Ю. В. Амарантовий стеблогриз – небезпечний шкідник насіннєвих посівів амаранту в Харківській області. *Вісник Харківського НАУ. Серія Ентомологія та фітопатологія*. 2008. № 8. С. 73-79.
101. Лиманська, С. В. Мінливість та зв'язки деяких морфологічних ознак амаранту (*AMARANTHUS L.*). URL: <http://genres.com.ua/assets/files/9/165.pdf> (дата звернення: 28.05.2021).
102. Лиманська, С. В. Поліморфізм морфологічних ознак, ізоферментних і молекулярно-генетичних маркерів у зернових видів амаранта (*Amaranthus L.*) : автореф. дис. ... канд. біол. наук : 03.00.15. НАН України, Ін-т фізіології рослин і генетики. Київ, 2014. 20 с.
103. Лихочвор В.В., Тирус М. Л. Вирішення агроекологічних проблем у рослинництві шляхом вирощування амаранту (*Amaranthus*). *Сучасні технології вирощування екологічно безпечної плодоовочевої продукції*. II Міжнародна науково-практична конференція, присвячена 90-річчю від дня народження видатної селекціонери часнику, к.с.-г. н., доцента Ліщак Лідії Петрівни, 28-29 березня 2024 року. Львів. ЛНУП. 2024. С. 50-51. (*Ідея роботи, планування і проведення досліджень, узагальнення результатів, участь у підготовці до друку*).
104. Лихочвор В. В., Петриченко В. Ф. Мінеральні добрива та їх застосування: навч. посібник. 2-ге вид., доопрац. і доповн. Львів : НВФ «Українські технології», 2012. 312 с.
105. Лихочвор В.В., Тирус М. Л., Гадзало О.Я. Формування продуктивності сортами амаранту залежно від рівнів удобрення. *Вчені ЛНУП*

виробництву. Каталог інноваційних розробок. Вип. XXIII. Львів, 2023. С. 13. *(Ідея роботи, планування і проведення досліджень, узагальнення результатів, участь у підготовці до друку).*

106. Лихочвор В.В., Тирус М. Л., Тирус І.Д. Особливості формування продуктивності амаранту залежно від норми висіву. *Вчені ЛНУП виробництву. Каталог інноваційних розробок. Вип. XXIII. Львів, 2023. С. 12. (Ідея роботи, планування і проведення досліджень, узагальнення результатів, участь у підготовці до друку).*

107. Лихочвор В. В., Тирус М. Л. Урожайність амаранту сорту Харківський 1 залежно від строків сівби. *Корми і кормовий білок: матеріали XVI Міжнародної наукової конференції (19- 20 вересня 2024 року). Інститут кормів та сільського господарства Поділля НААН. Вінниця. 2024. С. 42 – 46. (Ідея роботи, планування і проведення досліджень, узагальнення результатів, участь у підготовці до друку).*

108. Лихочвор В. В., Дубковецький С. В. Технологія вирощування амаранту. *Інформаційний листок № 057-93. Львів : Львівський МТЦНТ1, 1993. 4 с.*

109. Лихочвор В. В., Петриченко В. Ф. Фізіологічна роль елементів живлення та системи удобрення польових культур : підручник. 3-тє вид., перероб. Львів : Растр-7, 2021. 288 с. doi: 10.31073/978-966-345-251-7

110. Лихочвор В. В., Тирус М. Л. Урожайність амаранту залежно від сорту. *Органічне агровиробництво: освіта і наука : збірник матеріалів VII Міжнародної науково-практичної конференції, 25 жовтня 2022 р., Науково-методичний центр ВФПО. Київ, 2022. С. 68-69.*

111. Лісовал, А. П., Макаренко В. М., Кравченко С. М. Система застосування добрив. Київ : Вища школа, 2002. 317 с.

112. Лопушняк В. І., Шевчук М. Й., Полюхович М. М., Пархуць Б. І., Пархуць І. М. 555 питань і відповідей з агрохімії та агрохімсервісу : навч.-довід. посіб. За редакцією В. І. Лопушняка. Львів : Простір-М, 2018. 488 с.

113. Любич В.В., Кононенко Л.М., Полторецька Н.М., Войтовська В.І. Азотовмісний складник та жирнокислотний склад насіння різних сортів амаранту. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2022. 30. 112–118. DOI: 10.47414/nr.30.2022.268938
114. Любич В. В., Манзій О. П., Войтовська В. І., Климович Н. М. Фізико-хімічні властивості зерна амаранту залежно від сорту та вологості. *Новітні агротехнології*. 2023. № 11 (1). doi: 10.47414/na.11.1.2023.275736. URL: <http://jna.bio.gov.ua/article/view/275736>
115. Маковей Ю. Вирощування амаранту: про рентабельність, переваги та недоліки. *Куркуль – онлайн-асистент фермера*. 2023. URL: <https://kurkul.com/spetsproekty/1416-alternativa-2023-kultura-scho-daye-do-35-000-grn-pributku-z-ga> (дата звернення: 24.02.2023).
116. Максимов А. М. Ефективність створення високопродуктивних сортів амаранту, як сировини для виробництва національних замінників паливо-мастильних матеріалів, а також широкого спектру харчових, фармацевтичних і кормових продуктів. *Збірник наукових праць ВНАУ*. 2011. № 9 (49). С. 166-170.
117. Марігун А. О. Сірі лісові ґрунти, їх сільськогосподарське використання та заходи по підвищенню родючості. *Національний університет біоресурсів і природокористування України*. URL: <https://surl.lu/zknkes> (дата звернення: 14.02.2025).
118. Марков І. Л. «Енергетичні» хвороби. *Агробізнес сьогодні*. 2017. URL: <https://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/265-enerhetychni-khvoroby.html> (дата звернення: 01.06.2025).
119. Марков І. Л. Хвороби на нових інтродукованих видах рослин в умовах Лісостепу України. *Агробізнес сьогодні*. 2017. URL: <https://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/8794-khvoroby-na-novykh-introdukovanykh-vydakh-roslyn-v-umovakh-lisostepu-ukra> (дата звернення: 14.02.2025).
120. Марков І. Л., Мороз П. Амарант – рослина від ацтеків на українських полях. *Агропрофі*. 2019. № 6. С. 8.

121. Медведовський О. К., Іваненко П. І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві. Київ : Урожай, 1988. 208 с.
122. Методика державного сортовипробування сільськогосподарських культур / під ред. В. В. Волкодава. Київ, 2000. 100 с.
123. Методика державного сортовипробування сільськогосподарських культур (зернові, круп'яні та зернобобові культури). За ред. В. В. Волкодава. Київ, 2001. 69 с.
124. Методика наукових досліджень в агрономії : навч. посіб. / Ермантраут Е. Р. та ін. Біла Церква : «Білоцерківдрук», 2018. 104 с.
125. Методика проведення експертизи сортів рослин груп зернових, круп'яних та зернобобових на придатність до поширення в Україні / за ред. С. О. Ткачика. Вінниця : ФОП Корзун Д. Ю., 2016. 82 с.
126. Методика проведення експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні. Методи визначення показників якості продукції рослинництва / М-во аграр. політики та продовольства України, Укр. ін-т експертизи сортів рослин. – К., 2015. – URL: <https://sops.gov.ua/uploads/page/5a5f41997447d.pdf> (дата звернення: 24.07.2025).
127. Методики випробування і застосування пестицидів. СО Трибель, ДД Сігарьова, МП Секун, ОО Іващенко. За ред. проф. С.О. Трибеля. Київ. Світ 2001. 448 с.
128. Методичні рекомендації з оптимізації технології вирощування амаранту в умовах Південного Степу України / М. І. Федорчук, Д. Б. Рахметов, С. В. Коковіхін та ін. Херсон : Колос, 2017. 25 с.
129. Методологія виділення форм польових культур за стійкістю до комплексу біо- та абіотичних чинників / Петренкова В. П. та ін. Харків : ФОП Бровін О. В., 2018. 242 с.
130. Миколенко С. Ю., Царук Л. Ю., Чурсінов Ю. О. Вплив продуктів переробки амаранту і чіа на якість хліба. *Вісник Національного Технічного*

Університету «Харківський політехнічний інститут». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. 2019. № 5 (1330). С. 145-151.

131. Мішин С. М., Когут С. Г., Когут І. М. Математична інтерпретація залежності насіннєвої врожайності амаранту від густоти посіву. *Аграрний вісник Причорномор'я* : зб. наук. пр. Одеса : ОДАУ, 2011. Вип. 57. С. 124-130.

132. Мороз П. Амарант – чудодійна рослина від древніх ацтеків на українських полях. *Агропрофі.* 2019. № 6. С. 8.

133. Морозова В. І., Борух Г. Ю., Харчук А. С. Амарант – цінна високоврожайна кормова культура. *Проблеми вирощування, переробки і використання амаранту на кормові, харчові і інші цілі* : матеріали Першої Всеукр. наук.-практ. конф. Вінниця, 1995. С. 25.

134. Назаренко І. І., Польчина С. М., Нікорич В. А. Ґрунти зони Лісостепу. Сірі лісові ґрунти. *Ґрунтознавство*. URL: https://geoknigi.com/book_view.php?id=742 (дата звернення: 14.02.2025).

135. Несміян О. В., Гопцій Т. І. Адаптивний потенціал зернового амаранту в умовах лівобережного Лісостепу України. *Вісник Харківського національного університету. Серія Рослинництво, селекція і насінництво, плодовоовочівництво і зберігання*. Харків, 2015. Вип. № 1. С. 98-106.

136. Новітні агротехнології в рослинництві : підручник / В. А. Мазур та ін. Вінниця : ФОП Рогальська І. О., 2017. 588 с.

137. Носенко Ю. Дар богів. URL: <http://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/66-dar-bohiv.html> (дата звернення: 28.05.2021).

138. Овсієнко С. М. Амарант та продукти його переробки в хлібопеченні. *Продовольчі ресурси*. 2022. Т. 10, № 18. С. 109-120. doi: 10.31073/foodresources2022-18-11

139. Опідзолені ґрунти. *Енциклопедія Сучасної України*. URL: <https://esu.com.ua/article-75561> (дата звернення: 14.02.2025).

140. Опідзолені ґрунти. *Словник агронома*. 2021. URL: <https://superagronom.com/slovník-agronoma/opidzoleni-grunti-id20188> (дата звернення: 14.02.2025).
141. Панюкова О. О., Войташенко Д. П. Удобрення амаранту. Методичні рекомендації по ефективному використанню добрив. Херсон : Айлант, 2005. 18 с.
142. Перелік пестицидів і агрохімікатів дозволених до використання в Україні. Київ : Юніверст медіа, 2018. 831 с.
143. Перелік пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні. Київ : ТОВ «Юніверст Медіа», 2023. 831 с.
144. Петриченко В. Ф., Лихочвор В. В. Рослинництво. Нові технології вирощування польових культур : підручник. 5-те вид., виправ., доповн. Львів : НВФ «Українські технології», 2022. 808 с. doi: 10.31073/roslynnytstvo5vydannya
145. Пилипець С. О. Використання індукованого мутагенезу в селекції зернового амаранту (оглядова стаття). *Вісник Сумського НАУ. Серія Агрономія і біологія*. 2023. Том 52, № 2. С. 84-90.
146. Рахметов Д., Рибалко Я. Амарант знову нагадує про себе. *Пропозиція*. 2005. № 1. С. 52-53.
147. Рахметов Д., Рибалко Я. Амарант знову нагадує про себе. *Пропозиція*. 2005. № 2. С. 67-68.
148. Резніченко В. П., Андрієнко О. О., Васильковська К. В. Нові виклики часу – пластичні культури для зони ризикованого землеробства. *Topical aspects of modern science and practice*. Abstracts of I International scientific and practical conference, 21-24 september. Frankfurt am Main, Germany, 2020. С. 41-44. doi: 10.46299/isg.2020.II.I
149. Рижков О. Наша історія дає нам силу. *Зерно*. 2021. № 3. С. 86-92.
150. Рижков О. Суперфуд віддячить за труд. *Зерно*. 2022. № 3-4. С. 43-45.
151. Рижков О. Чемпіон із рентабельності. *Зерно*. 2021. № 4. С. 116-117.

152. Рожков А. О. та ін. Дослідна справа в агрономії : навчальний посібник : у 2 кн. Кн. 1. Теоретичні аспекти дослідної справи ; за ред. А. О. Рожкова. Харків : Майдан, 2016. 316 с.
153. Ронська Н. Високоолійні сорти амаранту. *Асоціація виробників амаранту та амарантової продукції*. URL: <https://amaranth-association.com/високоолійні-сорти-амаранту/> (дата звернення: 03.01.2023).
154. Ронська Н. Рослини-сидерати в землеробстві: як підвищити родючість ґрунту за допомогою амаранту? 1.9.2017. *Асоціація виробників амаранту та амарантової продукції*.
155. Рослинництво. Практикум : навч. посіб. / Зінченко О. І., Коротєєв А. В., Каленська С. М. та ін. ; за ред. О. І. Зінченка. Вінниця : Нова книга, 2008. 536 с.
156. Рудишин В. К. Способи посіву амаранту волосистого. *Проблеми вирощування, переробки і використання амаранту на кормові, харчові і інші цілі* : перша Всеукраїнська наук.-практ. конф. Вінниця, 1995. С. 48.
157. Рудишин В. К., Дерев'янський В. П., Молдован В. Г. Ріст та розвиток рослин амаранту волосистого залежно від строку посіву. *Перша Всеукраїнська науково-практична конференція по проблемі вирощування, переробки і використання амаранту на кормові, харчові і інші цілі*. Вінниця, 1995. С. 49-50.
158. Савчук О. І., Гуреля В. В., Кошицька Н. А. Вирощування амаранту в зоні Полісся в умовах змін клімату. *Новітні агротехнології: теорія і практика*. Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 95-річчю Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН (м. Київ, 11 липня 2017 р.). Вінниця : Нілан-ЛТД, 2017. С. 39-41.
159. Савчук О. І., Гуреля В. В., Кошицька Н. А., Блек А. Г. Ефективність вирощування амаранту в умовах зони Полісся. *Збірник наукових праць Агропромислове виробництво Полісся*. 2016. Вип. 9. С. 36-39. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/avpol_2016_9_9
160. Саплєва Л. О. Порівняльна оцінка продуктивності амаранту і розробка елементів технології його вирощування при зрошенні в Криму :

автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.01.09. УААН, Інститут ефіроолійних і лікарських рослин. Сімферополь, 2000. 18 с.

161. Саратівський В. В. Вирощування і застосування амаранту на Прикарпатті. *Науковий вісник. Український державний лісотехнічний університет*. 2004. Вип. 14.8. С. 307-312.

162. Станкевич Г. М., Валентюк Н. О., Когут І. М. Вплив вологості та температури зерна амаранту на його теплофізичні властивості. *Таврійський науковий вісник*. 2019. № 108. С. 177–184.

163. Станкевич С., Васильєва Ю. Оптимізація хімічного захисту амаранту від шкідливих організмів. *Агробізнес сьогодні*. 2020. № 15–16. С. 63–64. URL: <https://surl.li/rxinqt> (дата звернення: 14.02.2025).

164. Статистика погоди. Кліматичні дані по роках і місяцях. Львівська область, Жовківський район, м. Дубляни. <https://meteorpost.com/weather/climate/>

165. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica 6.0 / Е. Р. Ермантраут та ін. Київ : ПоліграфКонсалтинг, 2008. 55 с.

166. Сидерат в сучасному землеробстві: науково-виробниче видання: монографія / І. А. Шувар, О. М. Бердніков, Л. В. Центилю, В. М. Сендецький та ін.; за заг. ред. І. А. Шувара. Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2015. 156 с.

167. Тирус М. Л. Амарант – як альтернативне джерело живлення рослин. *Сучасні ековиклики. Стратегії екологічної безпеки довкілля*: збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції присвяченої 25-річчю кафедри екології Львівського НУП (22-23 травня 2024 р.) Львів-Дубляни : ЛНУП, 2024. С. 361-364.

168. Тирус М. Л. Вирощування амаранту в умовах Лісостепу західного. *The world of science and innovation*: матеріали X Міжнародної науково – практичної конференції 5 – 7 травня 2021 р. Великобританія, Лондон 2021. С. 740 – 744.

169. Тирус М. Л. Вміст білку в зерні амаранту залежно від сорту. *Стан і перспективи розробки та впровадження ресурсощадних, енергозберігаючих технологій вирощування сільськогосподарських культур*: матеріали

Міжнародної науково-практичної конференції 21-22 листопада 2023 року. Дніпро 2023. С. 167 – 169.

170. Тирус М. Л. Вплив гідротермічних умов на проходження фаз вегетації сортів амаранту залежно від норм добрив. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2025. Випуск 2 (47). С. 141 – 146. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2025-2.19>

171. Тирус М. Л. Вплив норми висіву на урожайність амаранту. *Вісник ЛНУП*. Серія: агрономія. Львів: Львівський національний університет природокористування, 2023. Вип. № 27. С. 81-85. <https://doi.org/10.31734/agronomy2023.27.081>

172. Тирус М. Л. Вплив рівнів удобрення на продуктивність амаранту в умовах Лісостепу західного. *Вісник ЛНАУ*. Серія: агрономія. Львів: Львівський нац. аграр. ун-т., 2021. Вип. № 25. С. 63-65. <https://doi.org/10.31734/agronomy2021.01.063>

173. Тирус М. Л. Вплив рівнів удобрення на продуктивність амаранту в умовах Лісостепу західного. *Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій: матеріали XXIII міжнародного науково-практичного форуму 4 – 6 жовтня 2022 року*. Львів 2022. С. 273 – 275.

174. Тирус М. Л. Вплив рівня удобрення на ріст і розвиток амаранту в умовах Лісостепу західного. *Results of modern scientific research and developmen: матеріали III Міжнародної науково – практичної конференції 29 – 31 травня 2021 р. Іспанія, Мадрид 2021*. С. 17 – 20.

175. Тирус М. Л. Вплив строків сівби на польову схожість і виживаність амаранту в умовах Західного Лісостепу. *Інноваційні технології у рослинництві: матеріали міжнародної науково-практичної інтернет-конференції до 115-ої річниці з дня народження доктора сільськогосподарських наук, професора, член-кореспондента НАН України, Заслуженого діяча науки України Кияка Григорія Степановича, 30 квітня 2025 р. Львів: ЛНУВМБ ім. С.З.Гжицького, 2025*. С. 42–44. <https://repository.lnup.edu.ua/jspui/handle/123456789/2477>

176. Тирус М. Л. Врожайність сортів амаранту в умовах Лісостепу західного. *«Сучасні аспекти підвищення продуктивного та адаптивного потенціалу сільськогосподарських культур у контексті європейського зеленого курсу»*: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції присвяченої 110-річчю від дня заснування Миронівського інституту пшениці імені В.М. Ремесла НААН 135-річчю від дня народження Єремєєва Івана Максимовича 125-річчю від дня народження Фрідріха Антона Йосиповича 115-річчю від дня народження Ремесла Василя Миколайовича 16 листопада 2022 року, с. Центральне, 2022. С. 154 – 155.

177. Тирус М. Л. Економічна ефективність вирощування сортів амаранту в умовах Лісостепу Західного України. *Агробіологія*, 2025, №1. С. 181 – 187. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2025-195-1-181-187>

178. Тирус М. Л. Економічна ефективність різних рівнів мінерального живлення у технології вирощування амаранту. *Scientific Progress & Innovations*. 2025. № 28 (1). С. 20 – 24. DOI: <https://doi.org/10.31210/spi2025.28.01.04> .

179. Тирус М. Л. Елементи структури врожаю амаранту залежно від способу і глибини сівби. *Сільське та лісове господарство*. 2025. № 2 (37). С. 67 – 78. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2025-2-7> <http://forestry.vsau.org/>

180. Тирус М. Л. Зелені добрива, як основа збереження родючості ґрунту. *Ґрунти, сталий розвиток та українське ґрунтознавство*: матеріали Міжнародної наукової конференції присвяченої 120-річчю від дня народження ГРИГОРІЯ АНДРУЩЕНКА 24-26 квітня 2023, Дубляни – Львів 2023. С. 166 – 170.

181. Тирус М. Л. Influence of fertilizer levels on the structure and yield of amaranth in the conditions of the western Forest-Steppe. *COVID-19 — CHALLENGES IN MODERN SCIENCE*: матеріали XX Міжнародної інтернет – конференції 2 - 3 червня 2021 р. Польща, Варшава 2021. С. 142 – 145.

182. Тирус М. Л. Оптимальна глибина сівби амаранту. *Інноваційні технології в індустрії 5.0*: Збірник тез за матеріалами 30-ої міжнародної науково-

практичної конференції (21-23 жовтня 2024 р.). Ч.1. – Суми: СНАУ, 2024 – С. 93 - 95.

183. Тирус М. Л. Продуктивність амаранту залежно від рівнів удобрення в умовах Лісостепу західного. *Наукові читання до 85 річчя від дня народження В'ячеслава Григоровича Михайлова – видатного вченого у галузі селекції та насінництва сільськогосподарських культур*: Матеріали тез Наукової Інтернет-конференції 5 жовтня 2021 року. Вінниця 2021. С. 180 – 183.

184. Тирус М. Л. Продуктивність амаранту зернового залежно від сорту та рівнів удобрення. *Вісник ЛНУП. Серія: агрономія*. Львів: Львівський національний університет природокористування, 2022. Вип. № 26. С. 77 - 80. <https://doi.org/10.31734/agronomy2022.26.077>

185. Тирус М. Л. Сидеральна цінність вегетативної маси амаранту. *Пріоритетні напрями наукового забезпечення виробництва продукції тваринництва у карпатському регіоні для подолання викликів, пов'язаних з воєнним станом*: матеріали міжнародної науково-практичної конференції. Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН, 25 червня 2024 р. Оброшине, 2024. С. 140 – 141.

186. Тирус М. Л. Сидеральна цінність зеленої маси сортів амаранту. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. 2025. Серія «Агрономія і біологія», випуск 1 (59). С. 128 – 133. DOI <https://doi.org/10.32782/agrobio.2025.1.16>

187. Тирус М. Л. Урожайність амаранту (*Amaranthus*) в умовах Лісостепу західного. *Кліматичні зміни та сільське господарство. виклики для аграрної науки та освіти*: збірник матеріалів V Міжнародної науково-практичної конференції 15 листопада 2022 року, Київ 2022. С. 164 – 165.

188. Тирус М. Л. Урожайність амаранту залежно від норми висіву. *Корми і кормовий білок*: матеріали XV Міжнародної наукової конференції (19-20 вересня 2023 року). Інститут кормів та сільського господарства Поділля НААН. Вінниця. 2023. С.63.

189. Тирус М. Л. Урожайність амаранту залежно від способу сівби в

умовах Західного Лісостепу . *Вісник Львівського національного університету природокористування. Серія Агрономія* , (28), 2024. С. 84–88.
<https://doi.org/10.31734/agronomy2024.28.084>

190. Тирус М. Л. Урожайність амаранту залежно від способу сівби. *Органічне агровиробництво: освіта і наука: збірник матеріалів VIII Міжнародної науково-практичної конференції 21 листопада 2023 року. Київ 2023* С. 118 - 120.

191. Тирус М. Л. Урожайність амаранту залежно від строків сівби в умовах Лісостепу західного. «*Наукові основи адаптивного землеробства*»: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції з нагоди 100-річчя від дня народження доктора сільськогосподарських наук, професора, академіка ФЕДОРА ТРОХИМОВИЧА МОРГУНА, 90-річчя Агрономічного факультету Дніпровського державного аграрно-економічного університету та Міжнародного дня здоров'я рослин (16-17 травня 2024 року, м. Дніпро). Дніпро: ДДАЕУ, 2024. С. 226.

192. Тирус М. Л. Урожайність зерна амаранту (*Amarantus Hypochondriacus* L.) залежно від способу і глибини сівби, норми висіву та строків сівби в умовах Лісостепу західного України. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2025. Вип. 77 (1). С. 122 – 135.
[https://doi.org/10.32636/01308521.2025-\(77\)-1-11](https://doi.org/10.32636/01308521.2025-(77)-1-11)

193. Тирус М. Л. Урожайність зерна амаранту (*Amarantus Hypochondriacus*) залежно від способу та глибини сівби в умовах Західного Лісостепу України. *Таврійський науковий вісник*. 2025. № 141 (2). С. 103 – 108.
<https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.141.2.14>

194. Тирус М. Л. Урожайність зерна амаранту залежно від глибини сівби. *Корми та кормовиробництво*. 2025. № 99. С. 77-85.
<https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202599-07>

195. Тирус М. Л. Урожайність сортів амаранту залежно від норми висіву в умовах достатнього зволоження. *Гербологія в сучасному екологічно безпечному*

землеробстві: матеріали XIII науково-практичної конференції 15 березня 2023, Київ 2023. С. 70 - 71.

196. Тирус М. Л. Урожайність сортів амаранту зернового в умовах Лісостепу західного. *«Поєднання науки, освіти, практичного виробництва і справедливого продажу якісної органічної продукції»*: матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції, 23 червня 2022 року. Вінниця 2022. С. 186 – 189.

197. Тирус М. Л. Формування врожайності зерна амаранту залежно від строків сівби в умовах Західного Лісостепу України. *Scientific Progress & Innovations*. 2023. № 26 (4). С. 71–76. <https://doi.org/10.31210/spi2023.26.04.13>

198. Тирус М. Л. Формування елементів структури урожаю сортів амаранту зернового в умовах Лісостепу західного. *«Інноваційний розвиток АПК України: проблеми та їх вирішення»*: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції присвяченої 100-річчю від дня заснування агрономічного факультету 2–3 червня 2022 року, Житомир 2022. С. 166 -167.

199. Тирус М. Л., Лихочвор В. В. Продуктивність сортів амаранту в умовах Лісостепу західного. *Вчені ЛНУП виробництву*. Каталог інноваційних розробок. Вип. XXII. Львів, 2022. С. 23. *(Ідея роботи, планування і проведення досліджень, узагальнення результатів, участь у підготовці до друку)*.

200. Тирус М. Л., Лихочвор В. В., Стасів О. О. Вплив способу сівби на продуктивність амаранту. *Вчені ЛНУП виробництву*. Каталог інноваційних розробок. Вип. XXIII. Львів, 2023. С. 14. *(Ідея роботи, планування і проведення досліджень, узагальнення результатів, участь у підготовці до друку)*.

201. Тирус М. Л., Лихочвор В. В. Вплив сорту на врожайність амаранту. *Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій*: матеріали XXV Міжнародного науково-практичного форуму, 02–04 жовтня 2024 р. Львів: ЛНУП, 2024. С. 281 – 283. *(Ідея роботи, планування і проведення досліджень, узагальнення результатів, участь у підготовці до друку)*.

202. Тирус М. Л., Лихочвор В.В., Мазурак І.В. Формування урожайності амаранту залежно від сорту та норми висіву в умовах достатнього зволоження. *Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій*: матеріали XXIV Міжнародного науково-практичного форуму 4-6 жовтня 2023 р. Львів 2023. С. 298 – 299. https://www.lnup.edu.ua/attachments/article/5890/Forum_LNUP_2023.pdf (Ідея роботи, планування і проведення досліджень, узагальнення результатів, участь у підготовці до друку).

203. Тирус М. Л., Лихочвор В. В. Урожайність амаранту залежно від сорту та норми висіву в умовах достатнього зволоження. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2023. Вип. 73 (1). С. 88-105. DOI: [https://doi.org/10.32636/01308521.2023-\(73\)-1-6](https://doi.org/10.32636/01308521.2023-(73)-1-6) (Ідея роботи, планування і проведення досліджень, узагальнення результатів, підготовка до друку).

204. Тирус М. Л., Лихочвор В. В., Оліфір Ю. М. Вміст жирних кислот в олії сортів амаранту за вирощування в умовах західного Лісостепу. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2024. Вип. 76 (2). С. 91 – 101. [https://doi.org/10.32636/01308521.2024-\(76\)-2-9](https://doi.org/10.32636/01308521.2024-(76)-2-9) (Ідея роботи, планування і проведення досліджень, узагальнення результатів, підготовка до друку).

205. Тирус М. Л., Лихочвор В. В., Оліфір Ю. М. Зелена маса амаранту як альтернатива мінеральних добрив. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2024. Вип. 75 (1). С. 120 – 131. [https://doi.org/10.32636/01308521.2024-\(75\)-1-11](https://doi.org/10.32636/01308521.2024-(75)-1-11) (Ідея роботи, планування і проведення досліджень, узагальнення результатів, підготовка до друку).

206. Тирус М. Л., Стефанюк С. В. Амарант (*AMARANTHUS L.*) – овочева культура. *Теоретичні і практичні аспекти розвитку галузі овочівництва в сучасних умовах*: матеріали VIII міжнародної науково-практичної конференції (21 травня 2025 р., сел. Селекційне Харківської обл.). Інститут овочівництва і баштанництва НААН. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2025. С. 142–145. (Ідея роботи, планування і проведення досліджень, узагальнення результатів, участь у підготовці до друку).

207. Тирусь М. Л., Тирусь І. Д. Вплив способу сівби на урожайність амаранту зернового в умовах Лісостепу західного. *Перлини степового краю: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції 21-22 листопада 2024 року*. Миколаївський національний аграрний університет. Миколаїв – 2024. С. 28-30. (*Ідея роботи, планування і проведення досліджень, узагальнення результатів, участь у підготовці до друку*).
208. Умарова Ф. А., Тухтахунов К., Майдинов М. М. Перспективи использования амаранта (*Amaranthus*) в фармацевтике (обзор). *Science time*. 2017. № 2 (38). С. 344–348.
209. Утеуш Ю. А., Скрипка О. Л. До питання селекції перспективних сортів амаранту в Україні. *Перша всеукраїнська науково-практична конференція по проблемі вирощування, переробки і використання амаранту на кормові, харчові і інші цілі*. Київ, 1995. С. 19–20.
210. Ушкаренко В. О., Нікішенко В. Л., Голобородько С. П., Коковіхін С. В. Дисперсійний і кореляційний аналіз у землеробстві та рослинництві : навчальний посібник. Херсон : Айлант, 2008. 272 с.
211. Фадєєв Л. Амарант: секрет рослини для здоров'я людини. *Агробізнес сьогодні*. URL: <http://agro-business.com.ua/agro/idei-trendy/item/13666-amarant-sekret-roslyny-dlia-zdorovia-liudyny.html> (дата звернення: 24.02.2023).
212. ФАО 2022. Світове харчування та сільське господарство – Статистичний щорічник 2022. Рим. <https://doi.org/10.4060/cc2211en>
213. Фарниев А. Т. Роль амаранта и бобовых трав в обогащении почвы питательными веществами. *Известия Горского государственного аграрного университета*. 2012. № 3. С. 25–31.
214. Хазем Калаи Х., Боса К., Гроховска А. Щирица (амарант) – одна из первых сельскохозяйственных культур, выращиваемая человеком. *Зерно. Журнал сучасного агропромисловця*. 2010. № 7. URL: <https://surl.li/quizge> (дата звернення: [19.07.2025]).
215. Ходаніцька О. О., Козішкурт М. Р. Амарант як сільськогосподарська культура. *Здобутки та досягнення прикладних та фундаментальних наук XXI*

століття : матеріали III Міжнародної наукової конференції (Черкаси, 29 липня 2022 р.). Вінниця : Європейська наукова платформа, 2022. С. 122–124.

216. Царик З. А. Перспективы использования зерна амаранта в производстве мясных изделий. *Нетрадиционное растениеводство, экология и здоровье : материалы VII междунар. науч.-практ. конф.* Симферополь, 1998. С. 667.

217. Цибульська С. Як знайти свою нішу, або на чому може заробити український фермер. *Пропозиція*. 2019. № 6. С. 30–33.

218. Цицюра Я. Г., Неїлик М. М., Дідур І. М., Поліщук М. І. Сидерація як базова складова біологізації сучасних систем землеробства : монографія. Вінниця : ТОВ «Друк», 2022. 770 с.

219. Черенков А. В., Краснєнков С. В., Дудка М. І. Продуктивність і отавність амаранту при різних строках збирання на зелений корм. *Бюлетень Інституту зернового господарства УААН*. Дніпропетровськ, 2002. № 18–19. С. 96–100.

220. Чернов И. А., Дёмина Г. В., Иванова О. Р. Особенности развития корневой системы амарантовых. *Проблеми вирощування, переробки і використання амаранту на кормові, харчові і інші цілі : матеріали Першої Всеукр. наук.-практ. конф.* Вінниця, 1995. С. 74.

221. Чернов И. А., Земляной Б. Я. Амарант – фабрика белка : монография. Казань, 1991. 90 с.

222. Чернов И. А., Куликов Ю. А. Физиологические обоснования технологии возделывания амаранта в Среднем Поволжье. *Проблеми вирощування, переробки і використання амаранту на кормові, харчові і інші цілі : матеріали Першої Всеукр. наук.-практ. конф.* Вінниця, 1995. С. 54–55.

223. Чистова В. А., Бреус И. П. Накопление элементов питания растениями *Amaranthus cruentus* L. в онтогенезе. *Перша Всеукраїнська науково-практична конференція по проблемі вирощування, переробки і використання амаранту на кормові, харчові і інші цілі*. Вінниця, 1995. С. 72–73.

224. Чубенко А. В., Головин В. П. Кормовая культура амарант для засушливого юга України. *Возделывание и использование амаранта в СССР : сб. научн. трудов Казанского университета*. Казань : Казанский университет, 1991. С. 60–67.
225. Шевчук М. Й., Веремеєнко С. І. Агрохімія. Рівне : НЦВГП, 2011. 728 с.
226. Шевчук М. Й., Веремеєнко С. І., Лопушняк В. І. Агрохімія : підручник. Частина 1. Теоретичні основи формування врожаю. Луцьк : Надстир'я, 2012. 196 с.
227. Шелест В. К., Підпалій І. Ф., Бернадський І. В. Норма висіву насіння, ширина міжрядь та чутливість до зрошення амаранта волотистого в Центральному Лісостепу. *Матеріали першої всеукр. конф. по проблемі вирощування, переробки і використання амаранта на кормові, харчові і інші цілі*. Вінниця, 1995. С. 40–41.
228. Щербаков В. Я., Яковенко М. Т., Когут С. Г. Вирощувати амарант – економічно вигідно. *Пропозиція*. 2003. № 3. С. 34–35.
229. Щербаков В. Я., Яковенко Т. М., Гобеляк Ю. М. Особливості розвитку рослин та продуктивності амаранту залежно від строків сівби. *Збірник наукових праць Уманського державного аграрного університету*. Умань : УДАУ, 2007. Вип. 65, ч. 1 : Агрономія. С. 193–197.
230. Якість ґрунтів та сучасні стратегії удобрення / за ред. Д. Мельничука, Дж. Хофмана, М. Городнього. Київ : Арістей, 2004. 488 с.
231. Яковенко Т. М., Щербаков В. Я., Когут С. Г., Бабаянц О. В., Поліщук С. В. Рекомендації з технології вирощування малопоширених олійних культур (амаранту, кунжуту) в Одеській області. Одеса, 2005. 28 с.
232. Янюк Т. І., Грюнвальд Н. В. Виробництво амаранту в Україні: стан і перспективи. *Продовольчі ресурси*. 2022. Т. 10, № 18. С. 179–192. DOI: <https://doi.org/10.31073/foodresources2022-18-18>
233. Яценко В. В., Яценко Н. В., Рогальський С. В., Січкара А. О., Новак Ю. В. Формування продуктивності сортів амаранту в Правобережному

Лісостепу України за дії абсорбенту Maxi Marin. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2023. Vol. 19, № 4. С. 262–269. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.19.4.2023.291231>

234. Яцик М. В., Воропай Г. В., Кіка С. М. Обґрунтування режимів водорегулювання при вирощуванні високопродуктивних кормових культур на осушених землях. *Вісник аграрної науки*. 2019. № 6 (795). С. 60–68.

235. Abayomi O. A., Adebayo O. J. Effect of fertilizer types on the growth and yield of *Amaranthus caudatus* in Ilorin, Southern Guinea, Savanna Zone of Nigeria. *Advances in Agriculture*. 2014. Article ID 947062. P. 1–5. <https://doi.org/10.1155/2014/947062>

236. Abbasi D., Rouzbehan Y., Rezaei J. Effect of harvest date and nitrogen fertilization rate on the nutritive value of amaranth forage (*Amaranthus hypochondriacus*). *Animal Feed Science and Technology*. 2012. Vol. 171. P. 6–13.

237. Achremowicz B., Ceglińska A., Haber T., Hołownia J., Just K., Obiedziński M. Ogólna charakterystyka i technologiczne wykorzystanie nasion szarłat. Część I. Ogólna charakterystyka szarłat. *Postępy techniki przetwórstwa spożywczego*. 2015. № 1. S. 118–125.

238. Adegbola P. I., Adetutu A., Olaniyi T. D. Antioxidant activity of *Amaranthus* species from the *Amaranthaceae* family – a review. *South African Journal of Botany*. 2020. Vol. 133. P. 111–117. DOI: 10.1016/j.sajb.2020.07.003

239. Adekanmbi A. E., Adewole M. B. Effects of arbuscular mycorrhiza fungi, organic fertilizer and different moisture regimes on soil properties and yield of *Amaranthus cruentus*. *Journal of Agricultural Sciences*. 2019. Vol. 64, № 2. P. 147–163. <https://doi.org/10.2298/JAS1902147A>

240. Aderibigbe O. R., Ezekiel O. O., Owolade S. O., Korese J. K., Sturm B., Hensel O. Exploring the potentials of underutilized grain amaranth (*Amaranthus* spp.) along the value chain for food and nutrition security: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2020. P. 1–14. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1825323>

241. Aderolu I. A. Occurrence, Abundance and Control of the Major Insect Pests Associated with Amaranths in Ibadan, Nigeria. *Entomology, Ornithology & Herpetology: Current Research*. 2013. Vol. 2, No. 2. Article 112. DOI: <https://doi.org/10.4172/2161-0983.1000112>
242. Adewole M. B., Dedeke O. A. Growth performance, yield and nutritional quality of *Amaranthus cruentus* L. under repeated applications of poultry manures. *Ife Journal of Science*. 2012. Vol. 14, № 2. P. 345–355.
243. Adhikari P., Joshi L. P., Ayer D. K., Tiwari K. R. Agromorphological Diversity and Disease Assessment of Grain Amaranth in Lamjung, Nepal. *Advances in Agriculture*. 2022. Vol. 2022. 12 p. <https://doi.org/10.1155/2022/8969390>
244. Adriana A. Nutritious Underutilized Species – Amaranth. Rome : Biodiversity International, 2013. 4 p.
245. Agro Alliance. Ukraine six times increased area under organic amaranth. 2018. URL: <http://agro-alliance.ltd/en/news/ukraina-v-shist-raziv-zbilshila-ploschid-organi> (дата звернення: 15.06.2025).
246. Ahammed A. U., Rahman M. M., Karim A. J. M. S. Response of stem amaranth to different levels of nitrogen, phosphorus and potassium. *Annals of Bangladesh Agriculture*. 2015. Vol. 19, № 2. P. 11–21.
247. Ahrar A., Paknejad F., Tabatabaei S. A., Aghayari F., Soltani E. Evaluation of forage Amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.) yield via comparing drought tolerance and susceptibility indices. *Italian Journal of Agrometeorology*. 2020. № 3. P. 31–40. <https://doi.org/10.13128/ijam-868>
248. Ajayi E. O., Akinyosoye S. T., Adetumbi J. A., Balogun M. O. Transpiration efficiency of Amaranth (*Amaranthus* sp.) in response to drought stress. 2018. URL: https://www.researchgate.net/publication/328622397_Transpiration_efficiency_of_Amaranth_Amaranthus_sp_in_response_to_drought_stress (дата звернення: 14.02.2025).
249. Akamine H., Ohshiro M., Hossain M. A. Fertilizer management for amaranth (*Amaranthus* spp.) cultivation on dark-red soil in Okinawa, Japan. *Applied*

Ecology and Environmental Research. Budapest : ALÖKI Kft., 2020. P. 8145–8158.
DOI: http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1806_81458158 .

250. Akbar M., Sherazi I. N., Khalil T., Iqbal M. S., Akhtar S., Khan S. N. Identification of antifungal compounds from slender amaranth. *Planta Daninha*. 2020. Vol. 38. <https://doi.org/10.1590/s0100-83582020380100063>

251. Akin-Idowu P. E., Ademoyegun O. T., Olagunju Y. O., Aduloju A. O., Adebo U. G. Phytochemical content and antioxidant activity of five grain Amaranth Species. *American Journal of Food Science and Technology*. 2017. Vol. 5, № 6. P. 249–255. DOI: 10.12691/ajfst-5-6-5

252. Alegbejo J. O. Nutritional value and utilization of amaranthus (Amaranthus spp.) – A review. *Bayero Journal of Pure and Applied Science*. 2015. Vol. 6, № 1. P. 136–143.

253. Alemayehu F. R., Bendevis M. A., Jacobsen S.-E. The Potential for Utilizing the Seed Crop Amaranth (Amaranthus spp.) in East Africa as an Alternative Crop to Support Food Security and Climate Change Mitigation. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2015. Vol. 201, № 5. P. 321–329. <https://doi.org/10.1111/jac.12108>

254. Al-Wabel M. I., Usman A. R. A., Al-Farraj A. S., Ok Y. S., Abduljabbar A., Al-Faraj A. I., Sallam A. S. Enhanced Accumulation of Copper and Lead in Amaranth (Amaranthus paniculatus), Indian Mustard (Brassica juncea) and Sunflower (Helianthus annuus). *PLOS One*. 2013. Vol. 8, № 4. P. e62941. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0062941>

255. Amaranth - an over view. Science Direct Topics. URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/amaranth> (дата звернення: 15.06.2025).

256. Amaranth An Ancient Food for Modern Gardens. Maine Organic Farmers and Gardeners. 2021. URL: <https://www.mofga.org/resources/gardening/amaranth-an-ancient-food-for-modern-gardens/> (дата звернення: 15.06.2025).

257. Amaranth characteristics. Botanical Online. 2022. URL: <https://www.botanical-online.com/en/food/amaranth> (дата звернення: 15.06.2025).

258. Amaranth Growing and Harvest Information. *VeggiHarvest*. 2020. URL: <https://veggieharvest.com/vegetables/amaranth-growing-and-harvest-information/> (дата звернення: 14.02.2025).
259. Amaranth History and Origin. Grand Teton Ancient Grains. URL: <https://www.ancientgrains.com/amaranth/amaranth-history-and-origin> (дата звернення: 15.06.2025).
260. Amaranth Production Guide. *Purdue University*. URL: <https://hort.purdue.edu/newcrop/afcm/amaranth.html> (дата звернення: 14.02.2025).
261. Amaranth. Encyclopedia Britannica. 2016. URL: <https://www.britannica.com/plant/Amaranthus> (дата звернення: 15.06.2025).
262. Amaranth. New World Encyclopedia. URL: <https://www.newworldencyclopedia.org/entry/Amaranth> (дата звернення: 15.06.2025).
263. Amaranth. *Purdue University New Crop Resource Online Program*. URL: <https://hort.purdue.edu/newcrop/afcm/amaranth.html> (дата звернення: 26.07.2025).
264. Amaranth: Modern Prospects for an Ancient Crop. Washington : National Academy Press, 1984. 96 p.
265. Amare E., Grigoletto L., Corich V., Giacomini A., Lante A. Fatty Acid Profile, Lipid Quality and Squalene Content of Teff (*Eragrostis teff* (Zucc.) Trotter) and Amaranth (*Amaranthus caudatus* L.) Varieties from Ethiopia. *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11, № 8. 3590. <https://doi.org/10.3390/app11083590>
266. Andini R., Yoshida S., Ohsawa R. Variation in protein content and amino acids in the leaves of grain, vegetable and weedy types of amaranths. *Agronomy*. 2013. Vol. 3, № 2. P. 391–403.
267. Andrusenko V. A. Formation of single-species and mixed crops of amaranth on leached chernozem of the southern Forest-steppe of the Republic of Bashkortostan : dis. ... cand. s.-g. sciences : 06.01.01. Ufa, 2016. 241 p.
268. Andrusenko V. A., Kuznetsov I. Y. Yield and removal of the supply elements when single-species and mixed annual crops forage crops, with the participation of amaranth. *Agrarian Herald of the Urals*. 2015. № 4 (134). P. 6–9.

269. Appiah-Kubi Z., Adomako J., Armooh B., Appiah-Kubi D., Oppong A., Quian M., Osekre E. A., Lamptey J. N., Kwoseh C. Identification and Characterization of Fusarium Species Associated With Amaranth (*Amaranthus* Species) Wilt Disease in the Semi-deciduous and Guinea Savannah Agro-ecological Zones of Ghana. *Journal of Agricultural Science*. 2022. Vol. 14, № 12. P. 130–141. <https://doi.org/10.5539/jas.v14n12p130>
270. Appiah-Kubi Z., Adomako J., Dwamena H., Obeng E. A., Adu-Gyamfi R., Osekre E. A., Quain M., Kwoseh C. Survey of fungal diseases associated with amaranth (*Amaranthus* species) in peri-urban vegetable farms in Kumasi and Tamale metropolis of Ghana. *African Journal of Agricultural Research*. 2022. Vol. 18, No. 10. P. 792–802. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJAR2022.15985>.
271. Ardali S. A. Effects of plant density and nitrogen rate on fatty acids profile of grain of amaranth (*Amaranthus hypocondriacus* L.). *International Journal of Agricultural and Crop Sciences*. 2014. Vol. 7, № 7. P. 390–392. URL: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20143226961>
272. Arendt E. K., Zannini E. Cereal Grains for the Food and Beverage Industries, Amaranth. *Woodhead Publishing Series*. 2013. P. 439–473. <https://doi.org/10.1533/9780857098924.439>
273. Apaza-Gutierrez V., Romero-Saravia A., Guillén-Portal F.R., Baltensperger D.D. Response of Grain Amaranth Production to Density and Fertilization in Tarija, Bolivia. In: Janick J., Whipkey A. (eds.). *Trends in New Crops and New Uses*. Alexandria, VA: ASHS Press, 2002. P. 107–109.
274. Asel C. Weerasekara, Viduranga Y. Waisundara. Amaranth as a Pseudocereal in Modern Times: Nutrients, Taxonomy, Morphology and Cultivation. 2020. DOI: [10.5772/intechopen.90927](https://doi.org/10.5772/intechopen.90927)
275. Assad R., Reshi Z. A., Jan S., Rashid I. Biology of Amaranths. *Botanical Review*. 2017. Vol. 83, № 4. P. 382–436. doi: [10.1007/s12229-017-9194-1](https://doi.org/10.1007/s12229-017-9194-1)
276. Aufhammer W., Kaul H. P., Kruse M., Nalborczyk E. Grain yield formation and nitrogen uptake of amaranth. *Field Crops Research*. 2014. Vol. 161. P. 1–11.

277. Ayala-Niño A., Contreras-López E., Castañeda-Ovando A., Sánchez-Franco J. A., González-Olivares L. G. Amaranth proteins as a source of bioactive peptides: a review. *International Food Research Journal*. 2020. Vol. 27, № 1. P. 1–15.
278. Ayodele O. J., Shittu O. S. Fertilizer effects on biological efficiency of maize leaf amaranth intercropping systems. *International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science*. 2013. Vol. 3. P. 81–87.
279. Azandémè-Hounmalon Y., Logbo J., Dassou A., Lokossi L., Akpla E., Fiaboe K., Tamo M. Investigation of amaranth production constraints and pest infestation reduction by basil intercropping. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2023. Vol. 12. Article 100627. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100627>.
280. Azri A., Aydi S. S., Aydi S., Debouba M., Bouajila J., Cerny M., Valentin R., Tricoulet L., Galaup P., Merah O. Nutritional and Bioactive Lipid Composition of Amaranthus Seeds Grown in Varied Agro-Climatic Conditions in France. *Agronomy*. 2025. Vol. 15, No. 3. Article 672. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy15030672>.
281. Ballabio C., Uberti F., Di Lorenzo C., Brandolini A., Penas E., Restani P. Biochemical and immunochemical characterization of different varieties of Amaranth (*Amaranthus L. ssp.*) as a safe ingredient for gluten-free products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2011. Vol. 59, № 24. P. 12969–12974. doi: 10.1021/jf2041824
282. Baraniak J., Kania-Dobrowolska M. The Dual Nature of Amaranth – Functional Food and Potential Medicine. *Foods*. 2022. Vol. 11, № 4. 618. doi: 10.3390/foods11040618
283. Barau B., Olufajo O. O., Umar F. G., Ibrahim A. A., Jibia S. S., James D., Yusif U., Maiwada A. A., Wakili A. Growth and yield of vegetable Amaranth as affected by poultry manure and seedling age at transplanting. *Universal Journal of Agricultural Research*. 2018. Vol. 6, № 4. P. 127–132. DOI: 10.13189/ujar.2018.060402

284. Bartlett D. W., Clough J. M., Godwin J. R., Hall A. A., Hamer M., Parr-Dobrzanski B. The strobilurin fungicides. *Pest Management Science*. 2002. Vol. 58, № 7. P. 649–662. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.520>
285. Bass C., Nauen R. The molecular mechanisms of insecticide resistance in aphid crop pests. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*. 2023. Vol. 156. Article 103937. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2023.103937>.
286. Beiermann C. W., Creech C. F., Knezevic S. Z., Jhala A. J., Harveson R., Lawrence N. C. Influence of planting date and herbicide program on *Amaranthus palmeri* control in dry beans. *Weed Technology*. 2022. Vol. 36, № 1. P. 79–85. DOI: <https://doi.org/10.1017/wet.2021.96>
287. Bekuzarova S. A., Khatsaeva F. M., Tebieva D. I., Bekmurzov A. D., Kebalova L. A., Gobejev M. A. Soil toxicity reduction by phytoindicators. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 677. 042100. doi: 10.1088/1755-1315/677/4/042100
288. Biel W., Jaskowska I. Właściwości żywieniowe nasion szarłat (Amaranthus cruentus). *Folia Pomeranae Universitatis Technologiae Stetinensis*. 2010. Vol. 281, № 16. S. 5–12. <https://hdl.handle.net/20.500.12539/1089>
289. Biel W., Jendrzyczak E., Jaroszevska A. et al. Nutritional content and antioxidant properties of selected species of *Amaranthus* L. *Italian Journal of Food Science*. 2017. Vol. 29. P. 728–740.
290. Bielski S., Szwejkowska B. Influence of some agro-technical treatments on the development and yields of amaranth. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2015. Vol. 21, № 4. P. 909–915.
291. Bihon W., Sheu Zong-Ming, Mallogo R., Chen Jaw-rong, Lee Li-mei, Kenyon L., Dinssa F. F., Srinivasan R., Schafleitner R. Survey of diseases of amaranth (*Amaranthus* spp. L.) in Tanzania revealed multiple fungal and viral infections. *Acta Horticulturae*. 2023. Vol. 1378. P. 317–324. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2023.1378.42>.
292. Bisikwa J., Walukano W., Ugen M. A., Muyinda A. M., Muyonga J. H. Effect of variety and soil fertility management on performance of grain amaranth in

different agro-ecological zones in Uganda. *Makerere University Journal of Agricultural and Environmental Sciences*. 2020. Vol. 9, № 1. P. 39–57.

293. Bobrzecka D., Domska D., Bowszys T., Procyk Z. Wpływ nawożenia borem na plon nasion szarłatu (*Amaranthus cruentus* L.) i zawartość w nich związków azotowych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. 2000. № 471. S. 181–188.

294. Bobrzecka D., Domska D., Bowszys T., Procyk Z., Wojciechowska B. Zmiany odczynu i zawartości niektórych makro- i mikroelementów w glebie w wyniku uprawy szarłatu (*Amaranthus cruentus* L.). *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. 1999. № 467. S. 323–330.

295. Bobrzecka D., Domska D., Wojciechowska B., Wojtkowiak K. Plonowanie oraz zawartość związków azotu w nasionach szarłatu (*Amaranthus cruentus* L.) w zależności od nawożenia miedzią. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. 2000. № 471. S. 189–195.

296. Borisade O. A., Awodele S., Uwaidem Y. Insect Pest Profile of Leaf Amaranth (*Amaranthus hybridus* L) and Prevention Herbivory Using Oil-Based Extracts of *Alium sativum* L, *Xylopia aethiopica* Dunal and *Eucalyptus globolus* L. *International Journal of Plant & Soil Science*. 2019. Vol. 28, No. 6. P. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.9734/ijpss/2019/v28i630130>

297. Bosiacki M., Kleiber T., Kaczmarek J. Evaluation of Suitability of *Amaranthus Caudatus* L. and *Ricinus Communis* L. in Phytoextraction of Cadmium and Lead from Contaminated Substrates. *Archives of Environmental Protection*. 2013. Vol. 39, № 3. P. 47–59. DOI: 10.2478/aep-2013-0022

298. Botanical Online. Amaranth characteristics. 2022. URL: <https://www.botanical-online.com/en/food/amaranth> (дата звернення: 15.06.2025).

299. Bozorov S. S., Berdiev N. S., Ishimov U. J., Olimjonov S. S., Ziyavitdinov J. F., Asrorov A. M., Salikhov S. I. Chemical composition and biological activity of seed oil of amaranth varieties. *Nova Biotechnologica Et Chimica*. 2018. Vol. 17, № 1. P. 66–73. <https://doi.org/10.2478/nbec-2018-0007>

300. Braz G. B. P., Takano H. K. Chemical control of multiple herbicide-resistant *Amaranthus*: A review. *Journal of the Brazilian Weed Science Society – Adv Weed Sci.* 2022. Vol. 40, № Spec2. P. 1–14. DOI: <https://doi.org/10.51694/AdvWeedSci/2022;40:Amaranthus009>
301. Bressani R. Composition and nutritional properties of amaranth. In Paredes-Lopez (Ed.). *Amaranth biology, chemistry, and technology*. Boca Raton : CRC Press, 2018. P. 185–205.
302. Brestovics K., Varga M., Petranský V., Vitková M., Štefániková J., Moravčíková J., Gömöryová E., Harichová J., Fehér A. A comparative analysis of heavy metal stress responses in different grain amaranth cultivars. *Plant Gene*. 2024. Vol. 39. P. 100487. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plgene.2024.100487>
303. Britannica. Amaranth. *Encyclopedia Britannica*. 2016. URL: <https://www.britannica.com/plant/Amaranthus> (дата звернення: 15.06.2025).
304. Caselato-Sousa V., Amaya-Farfan J. State of knowledge on amaranth grain: a comprehensive review. *Journal of Food Science*. 2012. Vol. 77. P. R93–R104. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02645.x>.
305. Casini P., Biancofiore G. Influence of row spacing on canopy and seed production in grain amaranth (*Amaranthus cruentus* L.). *Agronomy Research*. 2020. Vol. 18, № 1. P. 53–62. <https://doi.org/10.15159/AR.20.015>
306. Casini P., Biancofiore G. Optimizing sowing time for boosting productivity and nutritional quality of amaranth (*Amaranthus cruentus* L.) genotypes under Mediterranean climate. *Acta Agriculturae Slovenica*. 2020. Vol. 115, № 1. P. 183–191. doi: <https://doi.org/10.14720/aas.2020.115.1.1228>
307. Casini P., Biancofiore G., Palchetti E. Mechanical weed control strategies for grain amaranth (*Amaranthus cruentus* L.). *Agronomy Research*. 2022. Vol. 20, № 1. P. 73–90. <https://doi.org/10.15159/AR.22.018>
308. Casini P., La Rocca F. *Amaranthus cruentus* L. is suitable for cultivation in Central Italy: field evaluation and response to plant densities. *Italian Journal of Agronomy*. 2014. № 9 (602). P. 166–175. <https://doi.org/10.4081/ija.2014.602>

309. Castro P. R. C., Macedo W. R. Thiamethoxam: Molecule moderator of growth, metabolism and production of spring wheat. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 2011. Vol. 100, No. 1. P. 8–13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2011.05.003>.
310. Cechin I., Valquilha É. M. Nitrogen effect on gas exchange characteristics, dry matter production and nitrate accumulation of *Amaranthus cruentus* L. *Brazilian Journal of Botany*. 2019. Vol. 42. P. 373–381. doi: <https://doi.org/10.1007/s40415-019-00542-1>
311. Chaudari D. I., Desai L. J., Kalal P. H. Effect of integrated weed management on growth, yield, yield attributes and economics of grain amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.) under South Gujarat condition. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2019. Vol. 8, № 7. P. 2598–2604. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.807.320>
312. Chávez-Servín J. L., Cabrera-Baeza H. F., Jiménez-Ugalde E. A., Mercado-Luna A., de la Torre-Carbot K., Escobar-García K., Barreyro A. A., Serrano-Arellano J., García-Gasca T. Comparison of chemical composition and growth of amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) between greenhouse and open field systems. *International Journal of Agriculture and Biology*. 2017. Vol. 19, № 3. P. 577–583.
313. Chidozie Ogwu M. Value of *Amaranthus* [L.] Species in Nigeria. In *Nutritional Value of Amaranth*. London : Intech Open, 2020. P. 1–22. DOI: [10.5772/intechopen.86990](https://doi.org/10.5772/intechopen.86990)
314. Chirikova T. V. Amaranth – culture of the XXI century. *korm-amarant.com.ua*. 1999.
315. Clarke-Harris D., Fleischer S. J., Fuller C., Bolton J. Evaluation of the efficacy of new chemistries for controlling major lepidoptera pests on vegetable amaranth in Jamaica. *CARDI Review*. 2004. No. 4. P. 12–19.
316. Clemens S. How plants cope with heavy metals. *Botanical Studies*. 2014. Vol. 55. P. 35. DOI: <https://doi.org/10.1186/1999-3110-55-35>

317. Climate Change Impacts on Palmer Amaranth. *USDA Climate Hubs*. URL: <https://www.climatehubs.usda.gov/hubs/midwest/topic/climate-change-impacts-palmer-amaranth> (дата звернення: 14.02.2025).
318. Common Amaranth Plant Pests: Prevention and Control Methods. *Live to Plant*. 2023. URL: <https://livetoplant.com/common-amaranth-plant-pests-prevention-and-control-methods/> (дата звернення: 14.02.2025).
319. Conforti F., Statti G., Loizzo M. R., Sacchetti G., Poli F., Menichini F. In vitro antioxidant effect and inhibition of α -amylase of two varieties of *Amaranthus caudatus* seeds. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*. 2005. Vol. 28, № 6. P. 1098–1102. DOI: <https://doi.org/10.1248/bpb.28.1098>
320. Cranshaw W. S. Flea Beetles. *Colorado State University Extension*. 2019. No. 5.592. URL: <https://extension.colostate.edu/topic-areas/insects/flea-beetles-5-592/> (дата звернення: 14.02.2025).
321. Cui Xiaoying, Mao Peng, Sun Shuo, Huang Rong, Fan Yingxu, Li Yongxing, Li Yingwen, Zhuang Ping, Li Zhian. Phytoremediation of cadmium contaminated soils by *Amaranthus Hypochondriacus* L.: The effects of soil properties highlighting cation exchange capacity. *Chemosphere*. 2021. Vol. 283. Article 131067. DOI: [10.1016/j.chemosphere.2021.131067](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131067).
322. Cyril C. N., Kehinde O. O., Olanrewaju A. D., Dawid S. D., Olugbenga A. W. Vegetative growth and yield response of *Amaranthus cruentus* to arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), poultry manure (PM), combination of AMF-PM and inorganic fertilizer. *American Journal of Experimental Agriculture*. 2014. Vol. 4, № 6. P. 665–673.
323. D'Amico S., Schoenlechner R. Amaranth: Its Unique Nutritional and Health-Promoting Attributes. In *Gluten-Free Ancient Grains* / edited by J. R. N. Taylor, J. M. Awika. Woodhead Publishing Series, 2017. P. 131–159. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100866-9.00012-1>
324. Das S. *Amaranthus: A Promising Crop of Future*. Singapore : Springer Science+Business Media, 2016. 173 p. DOI: [10.1007/978-981-10-1469-7](https://doi.org/10.1007/978-981-10-1469-7)

325. Das S. Systematics and taxonomic delimitation of vegetable, grain and weed amaranths: A morphological and biochemical approach. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2012. Vol. 59. P. 289–303. DOI: 10.1007/s10722-011-9684-7.
326. Dedryver C. A., Le Ralec A., Fabre F. The conflicting relationships between aphids and men: A review of aphid damage and control strategies. *Comptes Rendus Biologies*. 2010. Vol. 333, No. 6–7. P. 539–553. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crv.2010.03.009>.
327. Délano-Frier J. P., Avilés-Arnaut H., Casarrubias-Castillo K., Casique-Arroyo G., Castrillón-Arbeláez P. A., Herrera-Estrella L., Massange-Sánchez J., Martínez-Gallardo N. A., Parra-Cota F. I., Vargas-Ortiz E., Estrada-Hernández M. G. Transcriptomic analysis of grain amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) using 454 pyrosequencing: comparison with *A. tuberculatus*, expression profiling in stems and in response to biotic and abiotic stress. *BMC Genomics*. 2011. Vol. 12. Art. 363. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2164-12-363>.
328. Delgado H., Martín J. P. Genetic diversity of black amaranth (*Amaranthus quitensis* Kunth) landraces of ecuadorian highlands: Association Genotypes—Color Morphotypes. *Agriculture*. 2023. Vol. 13, № 1. Article 34. DOI: 10.3390/agriculture13010034.
329. Deltamethrin General Fact Sheet. *National Pesticide Information Center (NPIC)*. Oregon State University. URL: <http://npic.orst.edu/factsheets/DeltaGen.html> (дата звернення: 14.02.2025).
330. Derilo S., Hudzik L. Yield of cultivated amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L. Thell.) under different conditions of pre-sowing soil cultivation and plant care. *Annales UMCS, Agricultura*. 2015. Vol. 70, No. 2. P. 55–65. DOI: <https://doi.org/10.24326/as.2015.2.6>.
331. Deryło S., Chudzik L. Plonowanie szarłatu uprawnego (*Amaranthus hypochondriacus* L. Thell.) w warunkach zróżnicowanej przedsiewnej uprawy roli i pielęgnacji roślin. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, Agricultura*. 2015. Vol. LXX, № 2. P. 55–65.

332. Deryło S., Chudzik L. Plonowanie szarłatu uprawnego (*Amaranthus hypochondriacus* L. Thell.) w warunkach zróżnicowanej przedsiewnej uprawy roli i pielęgnacji roślin. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, Agricultura*. 2015. Vol. LXX, № 2. P. 55–65.
333. Deryło S., Chudzik Ł. Wpływ przedsiewnej uprawy roli i pielęgnacji na zachwaszczenie łąnu szarłatu uprawnego (*Amaranthus hypochondriacus* L. Thell.). *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, sectio E, Agricultura*. 2012. Vol. LXVI, № 4. P. 1–4.
334. Desai J. S. Effect of integrated weed management on grain amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.) : master's thesis. Sardarkrushinagar Dantiwada Agricultural University. Dantiwada, India, 2021.
335. Desai J. S., Chaudhary A. N., Desai C. K., Patel P. M. Weed flora influenced by integrated weed management in grain amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.). *The Pharma Innovation Journal*. 2023. Vol. 12, № 12. P. 1688–1693. URL: <https://www.thepharmajournal.com/archives/?year=2023&vol=12&issue=12&ArticleId=24739> (дата звернення: 19.07.2025).
336. Devi R., Kaur T. Microbial consortium of mineral solubilizing and nitrogen fixing bacteria for plant growth promotion of amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.). *Journal of Plant Physiology*. 2022. Vol. 271. P. 153666.
337. Dmitrieva O. F. Comparative study of amaranth species (*Amaranthus* spp.) in the temperate continental climate of Russian Federation. *Acta agriculturae Slovenica*. 2019. Vol. 113, No. 1. P. 137–147. DOI: <http://dx.doi.org/10.14720/aas.2019.113.1.15>.
338. Dmitrieva O. F. Features of growth and development at different terms and methods of sowing in the soil and climatic conditions of the Chuvash Republic. *Bulletin of the I.Ya. Yakovlev ChGPU. Biological Sciences*. 2014. № 4 (84). P. 63–67.
339. Dmitrieva O. F. Growth and development of *Amaranthus cruentus* L. in the soil and climate conditions of the Chuvash Republic. *Successes of Modern Natural Science*. 2018. № 11-1. P. 30–36.

340. Dmitrieva O. F. Study of the growth and development of *Amaranthus cruentus* L. at different dates and methods of sowing in the Chuvash Republic. *Journal of Agriculture and Environment*. 2021. Vol. 1, № 17. P. 1–6. DOI: 10.23649/jae.2021.1.17.7.
341. Dmitrieva O. F. Growth and development of *Amaranthus cruentus* L. in the soil and climate conditions of the Chuvash Republic. *Successes of Modern Natural Science*. 2018. No. 11-1. P. 30–36.
342. Domska D., Bobrzecka D., Wojtkowiak K., Jakubowski K. Zawartość związków azotu w nasionach szarłat (Amaranthus cruentus L.) w zależności od nawożenia cynkiem. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. 2000. Vol. 472, № 1. P. 245–252.
343. Dzanagov S. Kh., Siukaeva F. T., Dzanagov T. S. Influence of unconventional fertilizers on the yield and structure of the amaranth crop on leached chernozem. *News of the Gorsky State Agrarian University*. 2019. Vol. 56, № 2. P. 7–12.
344. El Gendy A. N. G., Tavarini S., Conte G., Pistelli L., Hendawy S. F., Omer E. A., Angelini L. G. Yield and qualitative characterisation of seeds of *Amaranthus hypochondriacus* L. and *Amaranthus cruentus* L. grown in central Italy. *Italian Journal of Agronomy*. 2017. Vol. 13, № 1. P. 63–73. DOI: 10.4081/ija.2017.993.
345. El Gendy A. N. G., Tavarini S., Conte G., Pistelli L., Hendawy S. F., Omer E. A., Angelini L. G. Valorization of *Amaranthus hypochondriacus* and *Amaranthus cruentus* for fresh biomass and seed yield with high unsaturated fatty acid and squalene content under Mediterranean climate. *Agronomy*. 2018. Vol. 8, No. 2. P. 18. DOI: 10.3390/agronomy8020018
346. Elbehri A., Putnam D. H., Schmitt M. Nitrogen fertilizer and cultivar effects on yield and nitrogen-use efficiency of grain amaranth. *Agronomy Journal*. 1993. Vol. 85, № 1. P. 120–128.
347. Fadeev L. Амарант. *Grain Products and Mixed Fodder's*. 2024. Vol. 24, № 1. P. 13–19. DOI: 10.15673/gpmf.v24i1.2875.

348. Ganjare A., Raut N. Nutritional and medicinal potential of *Amaranthus spinosus*. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2019. Vol. 8, № 3. P. 3149–3156.
349. García M. S., Olguín I. I. A., Montes J. P. C., Ramírez D. G. R., Figueroa J. S. M., Valverde E. F., Rodríguez M. R. V. Nutritional functional value and therapeutic utilization of Amaranth. *Journal of Analytical & Pharmaceutical Research*. 2018. Vol. 7, № 5. P. 596–600. DOI: 10.15406/japlr.2018.07.00288.
350. Gardenate. Growing Amaranth (Love-lies-bleeding) in USA. URL: <https://www.gardenate.com/plant/Amaranth> (дата звернення: 26.07.2025).
351. Gélinas B., Séguin P. Étude de la faisabilité de la culture de l'amarante à graine au Québec. Département de Phytologie, Campus Macdonald de l'Université McGill. Québec, 2008. 10 p.
352. Gherase I., Barcanu E., Agapie O. L., Tanase B. E., Negosanu G., Vinatoru C. Main phenotypic expression on valuable *Amaranthus* accessions from vegetable research development station Buzau. *Scientific Papers-Series B-Horticulture*. 2020. Vol. 64, № 1. P. 373–378.
353. Gimplinger D. M., Dobos G., Schönlechner R., Kaul H.-P. Yield and quality of grain amaranth (*Amaranthus* sp.) in Eastern Austria. *Plant, Soil and Environment*. 2007. Vol. 53, № 3. P. 105–112.
354. Goptsiy T., Voroncov N., Popov V., Zhyravel D., Gromenko S. Grain varieties of amaranth developed by selection at Kharkiv national agrarian university and the perspectives of their use. *5th International Symposium of the: Amaranth - Plant for the Future. Book of Abstracts*. Nitra, Slovak Republic, November 9–14, 2008. P. 97–100.
355. Grand Teton Ancient Grains. Amaranth History and Origin. URL: https://www.ancientgrains.com/amaranth/amaranth-history-and-origin?srsltid=AfmBOoqvzE4S7_FVP5lqdGGqRq0i6dqId0KaUxG8UsmSZPpLs2fv6nhd (дата звернення: 15.06.2025).
356. Graziano S., Agrimonti C., Marmiroli N., Gulli M. Utilisation and Limitations of Pseudocereals (Quinoa, Amaranth, and Buckwheat) in Food Production:

A Review. *Trends in Food Science & Technology*. 2022. Vol. 125. P. 154–165. DOI: 10.1016/j.tifs.2022.04.007.

357. Gresta F., Guerrini A., Sacchetti G., Tacchini M., Sortino O., Ceravolo G., Onofri A. Agronomic, chemical, and antioxidant characterization of grain amaranths grown in a Mediterranean environment. *Crop Science*. 2017. Vol. 57, № 5. P. 2688–2698. DOI: 10.2135/cropsci2016.06.0531.

358. Gorinstein S., Lojek A., Číž M., Pawelzik E., Delgado-Licon E., Medina O. J., Moreno M., Salas I. A., Goshev I. Comparison of composition and antioxidant capacity of some cereals and pseudocereals. *International Journal of Food Science & Technology*. 2008. Vol. 43, No. 4. P. 629–637. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01498.x>.

359. Gresta F., Meineri G., Oteri M., Santonoceto C., Lo Presti V., Costale A., Chiofalo B. Productive and qualitative traits of *Amaranthus Cruentus* L.: an unconventional healthy ingredient in animal feed. *Animals*. 2020. Vol. 10, № 8. Article 1428. DOI: 10.3390/ani10081428.

360. Calabrò S., Oteri M., Vastolo A., Cutrignelli M. I., Todaro M., Chiofalo B., Gresta F. Amaranthus grain as a new ingredient in diets for dairy cows: productive, qualitative, and in vitro fermentation traits. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2022. Vol. 102, No. 10. P. 4121–4130. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.11761>.

361. Grobelnik Mlakar S., Turinek M., Jakop M., Bavec M., Bavec F. Grain amaranth as an alternative and perspective crop in temperate climate. *Journal for Geography*. 2010. Vol. 5, № 1. P. 135–145.

362. Growing and Harvesting Edible Amaranth. *The Spruce*. URL: <https://www.thespruce.com/growing-an-edible-amaranth-harvest-3954015> (дата звернення: 14.02.2025).

363. Haller H., Pronoza L., Dyer M., Ahlgren M., Bergqvist L., Flores Carmenate G., Jonsson A. Phytoremediation of Heavy-Metal-Contaminated Soils: Capacity of Amaranth Plants to Extract Cadmium from Nutrient-Poor, Acidic

Substrates. *Challenges*. 2023. Vol. 14, no. 2. Article 28. DOI: <https://doi.org/10.3390/challe14020028>

364. He H. P., Corke H. Oil and squalene in amaranthus grain and leaf. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2003. Vol. 51, No. 27. P. 7913–7920. DOI: 10.1021/jf030489q

365. Hlinková A., Bednářová A., Havrlentová M., Šupová J., Čičová I. Evaluation of fatty acid composition among selected amaranth grains grown in two consecutive years. *Biologia*. 2013. Vol. 68, № 4. P. 641–650. DOI: 10.2478/s11756-013-0190-6.

366. Hoptsi T. I., Lymanska S. V., Hudym O. V. Prospects for growing amaranth as a niche crop in the eastern part of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy*. 2022. No. 2. P. 11–17. DOI: <https://doi.org/10.32782/2310-0478-2022-2-11-17>.

367. Hossain M. B., Islam M. R., Rahman M. A., Akter S. Effect of organic manure and inorganic fertilizer on growth and yield of red amaranth (*Amaranthus gangeticus*). *Agricultural Research*. 2022. Vol. 11, No. 2. P. 234–245.

368. How to Grow Amaranth: A key plant for Climate Change Food Security. *EcoFriendly Homestead*. URL: <https://www.ecofriendlyhomestead.com/sustainable-garden/learn/how-to-grow-amaranth-a-key-plant-for-climate-change-food-security> (дата звернення: 14.02.2025).

369. Hricová A., Fejér J., Libiaková G., Szabóová M., Gažo J., Gajdošová A. Characterization of phenotypic and nutritional properties of valuable *Amaranthus cruentus* L. mutants. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 2016. Vol. 40, № 5. P. 761–771.

370. Huerta-Ocampo J. A., Barrera-Pacheco A., Mendoza-Hernández C. S., Espitia-Rangel E., Mock H. P., Barba de la Rosa A. P. Salt stress-induced alterations in the root proteome of *Amaranthus cruentus* L. *Journal of Proteome Research*. 2014. Vol. 13, No. 8. P. 3607–3627. DOI: <https://doi.org/10.1021/pr500153m>.

371. Iftikhar M., Khan M. Amaranth. *Bioactive Factors and Processing Technology for Cereal Foods*. Singapore: Springer, 2019. P. 217–232. DOI: 10.1007/978-981-13-6167-8_13.
372. Iordanescu I. P., Popa O., Babeanu N., Nita S., Paraschiv I., Dobre N., Ionica I. Physico-Chemical Characterization of Amaranth Extracts from Romanian Vegetal Sources with Antioxidant and Antiinflammatory Activities. *Revista de Chimie*. 2015. Vol. 66, № 5. P. 634–636.
373. Jamalluddin N., Massawe F. J., Symonds R. C. Transpiration efficiency of Amaranth (*Amaranthus* sp.) in response to drought stress. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 2018. Vol. 93, № 4. P. 448–459. DOI: 10.1080/14620316.2018.1537725.
374. James B., Atcha-Ahowé C., Godonou I., Baimey H., Goergen G., Sikirou R., Toko M. Integrated pest management in vegetable production: A guide for extension workers in West Africa. Ibadan, Nigeria : International Institute of Tropical Agriculture (IITA), 2010. 120 p. ISBN 978-131-344-7.
375. Jamiołkowska A., Skwaryło-Bednarz B., Kowalski R., Yildirim I., Patkowska E. Antifungal Potency of Amaranth Leaf Extract: An In Vitro Study. *Plants*. 2023. Vol. 12, № 8. Article 1723. DOI: 10.3390/plants12081723.
376. Janet O. A. Nutritional value and utilization of amaranthus (*Amaranthus* spp.) – A review. *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences*. 2015. Vol. 6, № 1. P. 136–143.
377. Jha G., Kawatra N., Dubey A. Phytoremediation of selected heavy metals contaminated water by *Amaranthus hybridus* in hydroponic system. *Materials Today: Proceedings*. 2023. Vol. 76. P. 1158–1165.
378. Jimoh M. O., Afolayan A. J., Lewu F. B. Nutrients and antinutrient constituents of *Amaranthus caudatus* L. Cultivated on different soils. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2020. Vol. 27, № 12. P. 3570–3580. DOI: 10.1016/j.sjbs.2020.07.029.

379. Jimoh M. O., Afolayan A. J., Lewu F. B. Therapeutic uses of *Amaranthus caudatus* L. *Tropical Biomedicine*. 2019. Vol. 36, № 4. P. 1038–1053. PMID: 33597473.
380. Joshi D. C., Sood S., Hosahatti R., Kant L., Pattanayak A., Kumar A., Yadav D., Stetter M. G. From zero to hero: The past, present and future of grain amaranth breeding. *Theoretical and Applied Genetics*. 2018. Vol. 131, № 9. P. 1807–1823. <https://doi.org/10.1007/s00122-018-3138-y>.
381. Joshi N., Verma K. C. A review on nutrition value of Amaranth (*Amaranthus caudatus* L.): The crop of future. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2020. Vol. 9, № 4. P. 317–319.
382. Kachiguma N. A., Mwase W., Maliro M., Damaliphetsa A. Chemical and mineral composition of amaranth (*Amaranthus* L.) species collected from central Malawi. *Journal of Food Research*. 2015. Vol. 4, № 4. P. 92–101. DOI: 10.5539/jfr.v4n4p92.
383. Kagali R. N., Kioko E. N., Osiemo Z., Muya S., Wachera A. C. Insect Abundance and Diversity on Cultivated *Amaranthus* Spp. (Amaranthaceae) in Meru County, Kenya. *ResearchGate*. 2014. URL: https://www.researchgate.net/figure/List-of-beneficial-insects-sampled-from-amaranth-between-March-2012-and-April-2013-in_tbl1_260273364 (дата звернення: 26.07.2025).
384. Karamać M., Gai F., Longato E., Meineri G., Janiak M. A., Amarowicz R., Peiretti P. G. Antioxidant Activity and Phenolic Composition of Amaranth (*Amaranthus caudatus*) during Plant Growth. *Antioxidants*. 2019. Vol. 8, № 6. Article 173. DOI: 10.3390/antiox8060173.
385. Kaur N., Kaur S., Agarwal A., Sabharwal M., Tripathi A. D. Amaranthus crop for food security and sustainable food systems. *Planta*. 2024. Vol. 260, No. 3. P. 59. DOI: 10.1007/s00425-024-04490-3
386. Kaźmierczak A., Bolesławska I., Przysławski J. Szarłat – jego wykorzystanie w profilaktyce i leczeniu wybranych chorób cywilizacyjnych. *Nowiny Lekarskie*. 2011. Vol. 80, № 3. P. 192–198.

387. Keraliya S. J., Desai L. J., Patel S. J., Kanara D. A. Effect of Integrated Nitrogen Management on Yield, Quality and Economic of Grain Amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.). *International Journal of Pure & Applied Bioscience*. 2017. Vol. 5, № 6. P. 531–534. DOI: 10.18782/2320-7051.5585.
388. Kolawo E. L., Sarah O. A. Growth and yield performance of *Amaranthus cruentus* influenced by planting density and poultry manure application. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 2009. Vol. 37, № 1. P. 195–199.
389. Koroleva A. K. Amaranth seed oil extraction methods. *Colloquium-journal Agricultural sciences*. 2019. Vol. 10, № 34. P. 46–47.
390. Kozak M., Malarz W., Kotecki A., Serafin-Andrzejewska M. Wpływ zróżnicowanego nawożenia azotem na rozwój, plonowanie i skład chemiczny nasion amarantusa uprawnego. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Rolnictwo*. 2011. Vol. XCVIII, № 581. P. 79–94.
391. Kraujalis P., Venskutonis P. R. Supercritical carbon dioxide extraction of squalene and tocopherols from amaranth and assessment of extracts antioxidant activity. *The Journal of Supercritical Fluids*. 2013. Vol. 80. P. 78–85. DOI: 10.1016/j.supflu.2013.04.005
392. Kubelková P., Jalc D., Homolka P., Čermák B. Effect of dietary supplementation with treated amaranth seeds on fermentation parameters in an artificial rumen. *Czech Journal of Animal Science*. 2013. Vol. 58, № 4. P. 159–166.
393. Kudsk P., Taberner A., de Troiani R. M. D., Sánchez T. M., Mathiassen S. K. Herbicide tolerance and seed survival of grain amaranth (*Amaranthus* sp.). *Australian Journal of Crop Science*. 2012. Vol. 6, No. 12. P. 1674–1680.
394. Kulczyński B., Gramza-Michałowska A., Grdeń M. Amaranthus — Wartość odżywcza i właściwości prozdrowotne. *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna*. 2017. № 1. P. 1–7.
395. Kumar S., Ahmad R., Mishra R. K., Sharma B. *Amaranthus tricolor* (red amaranth), an indigenous source of nutrients, minerals, amino acids, phytochemicals, and assessment of its antibacterial activity. *Food Chemistry Advances*. 2022. Vol. 1. P. 100060.

396. Kunene E. N., Masarirambi M. T., Gadaga T. H., Diamini P. S., Ngwenya M. P., Vilane V. S. Effects of organic and inorganic fertilizers on the growth and yield of amaranth (*Amaranthus hybridus*). *Acta Horticulturae*. 2019. Vol. 1238. P. 31–38. DOI: 10.17660/ActaHortic.2019.1238.4.
397. Lancíková V, Tomka M, Žiarovská J, Gažo J, Hricová A. Morphological Responses and Gene Expression of Grain Amaranth (*Amaranthus* spp.) Growing under Cd. *Plants (Basel)*. 2020 Apr 30;9(5):572. doi: 10.3390/plants9050572. PMID: 32365842; PMCID: PMC7285102.
398. Lassaletta L., Aguilera E., Sanz-Cobena A., Pardo G., Billen G. Biological nitrogen fixation and prospects for ecological intensification in cereal-based cropping systems. *Field Crops Research*. 2022. Vol. 280. P. 108471.
399. Liu F., Stützel H. Biomass partitioning, specific leaf area, and water use efficiency of vegetable amaranth in response to drought stress. *Scientia Horticulturae*. 2002. Vol. 102, No. 1. P. 15–27. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2003.11.014>.
400. Liu X., Yang S., Zhao L. Production Guide of Vegetable Amaranth for Florida. *University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences Extension*. 2024. URL: <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/HS1407> (дата звернення: 14.02.2025).
401. López-Mejía O. A., López-Malo A., Palou E. Antioxidant capacity of extracts from amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.) seeds or leaves. *Industrial Crops and Products*. 2014. Vol. 53. P. 55–59.
402. Love J. H., Nyankanga R. O. Response of growth and grain yield of Amaranth (*A. hypochondriacus*) to combined manure and inorganic fertiliser pellets and non-pellets. *International Journal of Plant & Soil Science*. 2018. Vol. 24, № 3. P. 1–10. DOI: 10.9734/IJPSS/2018/43110.
403. Lyson E., Biel W. Amaranthus - skład chemiczny i wartość prozdrowotna. *Przemysł Spożywczy*. 2017. Vol. 71, № 6. P. 44–46. DOI: 10.15199/65.2017.6.9.
404. Lyson E., Biel W. Wartość pokarmowa zielonki z amarantusa. *Wiadomości Zootechniczne*. 2017. Vol. LV, № 1. P. 80–86.

405. Lyu H., Li Y., Wang Y., Wang P., Shang Y., Yang X., Wang F., Yu A. Drive soil nitrogen transformation and improve crop nitrogen absorption and utilization - a review of green manure applications. *Frontiers in Plant Science*. 2024. Vol. 14. P. 1305600.
406. Madgaonkar C. S., Lakshman H. C. Association of arbuscular mycorrhizal fungi in some plants of amaranthaceae. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*. 2011. Vol. 24, № 3. P. 303–308.
407. Mahendiran Annamalai, Sathish S., Chandrasekaran R., Boominathan P., Kadirvel P., Samiyappan R., Govindarajan M. Effect of thiamethoxam on growth, biomass of rice varieties and its specialized herbivore, *Scirpophaga incertulas* Walker. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 2018. Vol. 101. P. 146–155. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2017.10.009>.
408. Maine Organic Farmers and Gardeners. Amaranth An Ancient Food for Modern Gardens. 2021. URL: <https://www.mofga.org/resources/gardening/amaranth-an-ancient-food-for-modern-gardens/> (дата звернення: 15.06.2025).
409. Makinde E. A., Ayeni L. S., Ojeniyi S. O. Effects of Organic, Organomineral and NPK Fertilizer Treatments on The Nutrient Uptake of *Amaranthus Cruentus* (L) on Two Soil Types in Lagos, Nigeria. *Journal of Central European Agriculture*. 2011. Vol. 12, № 1. P. 114–123. DOI: 10.5513/JCEA01/12.1.887.
410. Makinde E. A., Ayeni L. S., Ojeniyi S. O. Morphological characteristics of *Amaranthus cruentus* L. as influenced by kola pod husk, organomineral and NPK fertilizers in Southwestern Nigeria. *New York Science Journal*. 2010. Vol. 3, № 5. P. 130–134.
411. Malaghan S. N., Revanappa P. S., Ajjappalavar P. S., Nagaraja M. S., Raghavendra S. Genetic variability, heritability and genetic advance in grain Amaranth (*Amaranthus* spp.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2018. Vol. 7, № 7. P. 1485–1494. DOI: 10.20546/ijcmas.2018.707.175.
412. Malik M. A., Chowdhury R., Sharma H. K., Saini C. S. Nutritional Composition, Functionality, and Processing Technologies for Amaranth: A Review.

413. Managa G. M., Nemadodzi L. E. Comparison of agronomic parameters and nutritional composition on red and green amaranth species grown in open field versus Greenhouse environment. *Agriculture*. 2023. Vol. 13, № 3. Article 685. DOI: 10.3390/agriculture13030685.

414. Manyelo T. G., Sebola N. A., Hassan Z. M., Ng'ambi J. W., Weeks W. J., Mabelebele M. Chemical composition and metabolomic analysis of *Amaranthus cruentus* grains harvested at different stages. *Molecules*. 2022. Vol. 27, № 3. Article 623. DOI: 10.3390/molecules27030623.

415. Marin D. I., Bolohan C., Mihalache M., Rusu T. Research on *Amaranthus cruentus* L. and *Amaranthus hypochondriacus* L. species grown in south-eastern Romania (Moara Domneasă – Ilfov). *Scientific Papers, UASVM Bucharest, Series A*. 2011. Vol. LIV. P. 297–302.

416. Martínez N., Castillo-Juárez H., De León F., Trujillo T., Saldaña G., Santos A. Barrenación del tallo de Amaranto por *Hypolixus Truncatulus* (Coleoptera: Curculionidae) y *Amauromyza Abnormalis* (Diptera: Agromyzidae). *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*. 2004. Vol. 20, No. 1. P. 53–65. DOI: <https://doi.org/10.21829/azm.2004.2012004>

417. Martínez-Núñez M., Ruiz-Rivas M., Vera-Hernández P. F., Bernal-Muñoz R., Luna-Suárez S., Rosas-Cárdenas F. F. The phenological growth stages of different amaranth species grown in restricted spaces based in BBCH code. *South African Journal of Botany*. 2019. Vol. 124. P. 436–443. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.05.035> .

418. Martínez-Villaluenga C., Peñas B., Hernández-Ledesma B. Pseudocereal grains: Nutritional value, health benefits and current applications for the development of gluten-free foods. *Food and Chemical Toxicology*. 2020. Vol. 137. Article 111178. DOI: 10.1016/j.fct.2020.111178.

419. Martirosyan D. M., Miroshnichenko L. A., Kulakova S. N., Pogojeva A. V., Zoloedov V. I. Amaranth oil application for coronary heart disease and

hypertension. *Lipids in Health and Disease*. 2007. Vol. 6. P. 1. DOI: 10.1186/1476-511X-6-1

420. Maruthadurai R., Ramesh R. Occurrence of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) on fodder crops and green amaranth in Goa, India. *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 2020. Vol. 8, No. 1. P. 1426–1428.

421. Mausbach J., Irmak S., Sarangi D., Lindquist J., Jhala A. J. Control of acetolactate synthase inhibitor/glyphosate-resistant Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) in isoxaflutole/glufosinate/glyphosate-resistant soybean. *Weed Technology*. 2021. Vol. 35, № 5. P. 779–785. DOI: <https://doi.org/10.1017/wet.2021.49>

422. McAuslane H. J., Liu T. X., Rondon S. I. Biological Control Strategies in Integrated Pest Management (IPM) Programs. *Land-Grant Press*. 2024. URL: <https://lgpress.clemson.edu/publication/biological-control-strategies-in-integrated-pest-management-ipm-programs/> (дата звернення: 26.07.2025).

423. Mellem J. J., Baijnath H., Odhav B. Bioaccumulation of Cr, Hg, As, Pb, Cu and Ni with the ability for hyperaccumulation by *Amaranthus dubius*. *African Journal of Biotechnology*. 2008. Vol. 7, № 25. P. 4667–4676.

424. Mihailescu E., Bruno Soares M. The Influence of Climate on Agricultural Decisions for Three European Crops: A Systematic Review. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2020. Vol. 4. Article 64. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00064>.

425. Mikheeva L. A., Brynsky G. T., Yakubova A. R. Extraction of amaranth oil and study of its physical and chemical properties. *Ulianovsrii medico-biologicheskii zhurnal*. 2014. № 3. P. 127–132.

426. Minguet Paul-Henry. Soil Salinity Effects on the Morphology, Physiology and Nutritional Quality of Seed and Leaf Cultivars of Red Amaranth (*Amaranthus cruentus*). *Faculté des sciences, Université catholique de Louvain*, 2024. 128 p. URL: <http://hdl.handle.net/2078.1/thesis:43948> (дата звернення: 14.02.2025).

427. Mironeasa S., Coțovanu I. Investigations on molecular characteristics and microstructure of amaranth particle sizes and their impact on wheat bread. *Scientific Reports*. 2022. DOI: 10.21203/rs.3.rs-1335116/v1.
428. Mlakar S. G., Turinek M., Jakop M., Bavec M., Bavec F. Nutrition value and use of grain amaranth: potential future application in bread making. *Agricultura*. 2009. Vol. 6, № 4. P. 43–53.
429. Mndzebele B., Ncube B., Fessehazion M., Mabhaudhi T., Amoo S., du Plooy C., Venter S., Modi A. Nitrogen fixation and nutritional yield of cowpea-amaranth intercrop. *Agronomy*. 2020. Vol. 10, No. 4. P. 565.
430. Mndzebele B., Ncube B., Fessehazion M., Mabhaudhi T., Amoo S., Plooy C., Venter S., Mod A. Effects of Cowpea-Amaranth Intercropping and Fertiliser Application on Soil Phosphatase Activities, Available Soil Phosphorus, and Crop Growth Response. *Agronomy*. 2020. Vol. 10, № 1. Article 79. P. 2–20. DOI: 10.3390/agronomy10010079.
431. Mndzebele B., Ncube B., Nyathi M., Mabhaudhi T., Modi A. Assessment of the effects of NPK fertilizer on edible yield and agro-biological parameters in a cowpea–amaranth intercrop. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2023. Vol. 7. P. 1210984.
432. Molina E., González-Redondo P., Moreno-Rojas R., Montero-Quintero K., Sánchez-Urdaneta A. Effect of the inclusion of *Amaranthus dubius* in diets on carcass characteristics and meat quality of fattening rabbits. *Journal of Applied Animal Research*. 2018. Vol. 46, № 1. P. 218–223.
433. Mondor M., Melgar-Lalanne G., Hernández-Álvarez A. J. Cold Pressed Amaranth (*Amaranthus Tricolor*) Oil. *Cold Pressed Oils, Green Technology, Bioactive Compounds, Functionality, and Applications*. Cambridge: Academic Press, 2020. P. 113–127.
434. Moshaver E., Madani H., Emam Y., Mohamadi G. N., Sharifabad H. H. Effect of planting date and density on amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.) growth indices and forage yield. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*. 2016. Vol. 4, № 5. P. 541–547.

435. Mota C., Santos M., Mauro R., Samman N., Matos A. S., Torres D., Castanheira I. Protein content amino acids profile pseudocereals. *Food Chemistry*. 2016. Vol. 193. P. 55–61. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.11.043.
436. Mphahlele R. R., Maboko M. M., Selahle M. K., Sivakumar D. Comparison of Agronomic Parameters and Nutritional Composition on Red and Green Amaranth Species Grown in Open Field Versus Greenhouse Environment. *Agriculture*. 2023. Vol. 13, No. 3. P. 685.
437. Mukuwapasi B., Mavengahama S., Gerrano A. S. Grain amaranth: A versatile untapped climate-smart crop for enhancing food and nutritional security. *Discover Agriculture*. 2024. Vol. 2. Article 44. DOI: <https://doi.org/10.1007/s44279-024-00057-8>.
438. Mureithi D. M., Fiaboe K. K. M., Ekesi S., Meyhöfer R. Important arthropod pests on leafy Amaranth (*Amaranthus viridis*, *A. tricolor* and *A. blitum*) and broad-leafed African nightshade (*Solanum scabrum*) with a special focus on host-plant ranges. *African Journal of Horticultural Science*. 2017. Vol. 11. P. 1–17.
439. NAFIS (National Farmers Information Service). Pests and Diseases of Grain Amaranth. URL: <http://www.nafis.go.ke/vegetables/grain-amaranth/pests-and-diseases/> (дата звернення: 26.07.2025).
440. Nampeera E. L., Nonnecke G. R., Blodgett S. L., Tusiime S. M., Masinde D. M., Wesonga J. M., Murungi L. K., Baidu-Forson J. J., Abukutsa-Onyango M. O. Farmers' Knowledge and Practices in the Management of Insect Pests of Leafy Amaranth in Kenya. *Journal of Integrated Pest Management*. 2019. Vol. 10, No. 1. Article 31. DOI: <https://doi.org/10.1093/jipm/pmz029>.
441. Nasirpour-Tabrizi P., Azadmard-Damirchi S., Hesari J., Piravi-Vanak Z. Amaranth Seed Oil Composition Nutritional Value of Amaranth. *London: InTech Open*, 2020. DOI: 10.5772/intechopen.91381.
442. Nasser A. G., Gendy E., Tavarini S., Conte G., Pistelli L., Hendawy S. F., Omer E. A., Angelini L. G. Yield and qualitative characterisation of seeds of *Amaranthus hypochondriacus* L. and *Amaranthus cruentus* L. grown in central Italy.

Italian Journal of Agronomy. 2018. Vol. 13, № 1. P. 63–73. DOI: 10.4081/ija.2017.993.

443. National Research Council. Lost Crops of Africa: Volume II: Vegetables. Chapter 1: Amaranth. *Washington, DC : The National Academies Press*, 2006. DOI: <https://doi.org/10.17226/11763>

444. New World Encyclopedia. Amaranth. URL: <https://www.newworldencyclopedia.org/entry/Amaranth> (дата звернення: 15.06.2025).

445. Nguyen D. C., Tran D. S., Tran T. T. H., Ohsawa R., Yoshioka Y. Genetic diversity of leafy amaranth (*Amaranthus tricolor* L.) resources in Vietnam. *Breeding Science*. 2019. Vol. 69, № 4. P. 640–650. DOI: 10.1270/jsbbs.19050.

446. Noelting M. C., Sisterna M., Lovisolo M., Molla-Kralj A., Lori G., Sandova M. C., Sulyok M., Molina M. C. Discoloured seeds of amaranth plant infected by *Alternaria alternata*: physiological, histopathological alterations and fungal secondary metabolites associated or registered. *Journal of Plant Protection Research*. 2016. Vol. 56, № 3. P. 244–249.

447. Nurse R. E., Obeid K., Page E. R. Optimal planting date, row width, and critical weed-free period for grain amaranth and quinoa grown in Ontario, Canada. *Canadian Journal of Plant Science*. 2016. Vol. 96, № 3. P. 360–366. DOI: 10.1139/cjps-2015-0160.

448. Nyankanga, R., Onwonga, R., Wekesa, F., Nakimbugwe, D., Mugisha, J. (2011). Effect of Inorganic and Organic Fertilizers on the Performance and Profitability of Grain Amaranth (*Amaranthus caudatus* L.) in Western Kenya. *Journal of Agricultural Science*, 4(1), 223-233. <https://doi.org/10.5539/jas.v4n1p223>

449. Nyasulu M., Sefasi A., Chimzinga S., Maliro M. Agromorphological characterisation of amaranth accessions from Malawi. *American Journal of Plant Sciences*. 2021. Vol. 12, № 10. P. 1528–1542. DOI: 10.4236/ajps.2021.1210108.

450. Ogrodowska D., Zadernowski R., Czaplicki S., Derewiaka D., Wronowska B. Amaranth seeds and products – the source of bioactive compounds.

Polish Journal of Food and Nutrition Sciences. 2014. Vol. 64, № 3. P. 165–170. DOI: 10.2478/v10222-012-0095-z.

451. Ojo D. O. Effect of weeding frequencies on grain amaranth (*Amaranthus cruentus* L.) growth and yield. *Crop Protection*. 1997. Vol. 16, No. 5. P. 463–466. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(97\)00017-3](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(97)00017-3) .

452. Olaniyi J. O., Adelasoye K. A., Jegede C. O. Influence of nitrogen fertilizer on the growth, yield and quality of grain amaranth varieties. *World Journal of Agricultural Sciences*. 2008. Vol. 4, № 4. P. 506–513.

453. Olimjonov S. S., Ziyavittidinov J. F., Bozorov S. S., Ishimov U. J., Berdiev N. Sh., Abrekov N. N., Muminov M. M., Asrorov A. M. Comparative chemical composition of seeds of amaranth varieties introduced in Uzbekistan. *Nova Biotechnologica et Chimica*. 2020. Vol. 19, № 1. P. 61–69. DOI: 10.36547/nbc.v19i1.578.

454. Olofintoye J. A. T., Abayomi Y. A., Olugbemi O. Yield responses of grain amaranth (*Amaranthus cruentus* L.) varieties to varying planting density and soil amendment. *African Journal of Agricultural Research*. 2015. Vol. 10, № 21. P. 2218–2225. DOI: 10.5897/AJAR2015.9746.

455. Olofintoye J. A. T., Adeniyi H. A., Olagorite A. A. Effects of phosphorus fertilizer and intra row spacing on the growth and yield on grain amaranth (*Amaranthus cruentus*). *Agriculture Journal*. 2011. Vol. 6, № 6. P. 366–368.

456. Olowoake A. A., Lawal O. I. Effect of organomineral and NPK fertilizer application on growth and yield of grain amaranth (*Amaranthus cruentus* L.). *Tropical Agriculture*. 2016. Vol. 93, № 2. P. 139–146.

457. Onyango C. A., Harbinson J., Imungi J. K., Shibairo S. I., Kooten O. van. Influence of organic and mineral fertilization on germination, leaf nitrogen, nitrate accumulation and yield of vegetable amaranth. *Journal of Plant Nutrition*. 2012. Vol. 35, No. 3. P. 342–365. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2012.639917>..

458. Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Specialty Cropopportunities - Grain Amaranth. URL:

https://www.omafra.gov.on.ca/CropOp/en/field_grain/spec_grains/gama.html (дата звернення: 26.07.2025).

459. Ortikov T., Shoniyozov B., Usmanov R. Influence of mineral and organic fertilizers on the properties of serozem - meadow soils, nutritional dynamics and yield of amaranth. *Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition)*. 2022. Vol. 41, № 10. P. 412–424. DOI: 10.17605/OSF.IO/XB56T.

460. Oteri M., Gresta F., Costale A., Lo Presti V., Meineri G., Chiofalo B. Amaranthus hypochondriacus L. as a sustainable source of nutrients and bioactive compounds for animal feeding. *Antioxidants*. 2021. Vol. 10, № 6. Article 876. P. 876–890. DOI: 10.3390/antiox10060876.

461. Othim S. T. O., Srinivasan R., Kahuthia-Gathu R., Dubois T., Dinssa F. F., Ekesi S., Fiaboe K. K. M. Screening for resistance against major lepidopteran and stem weevil pests of amaranth in Tanzania. *Euphytica*. 2018. Vol. 214, № 10. Article 182. P. 2–21. DOI: 10.1007/s10681-018-2269-1.

462. Othim S. T. O., Srinivasan R., Kahuthia-Gathu R., Dubois T., Dinssa F. F., Ekesi S., Fiaboe K. K. M. Expression of Resistance in Amaranthus spp. (Caryophyllales: Amaranthaceae): Effects of Selected Accessions on the Behaviour and Biology of the Amaranth Leaf-Webber, Spoladea recurvalis (Lepidoptera: Crambidae). *Insects*. 2018. Vol. 9, No. 2. Article 62. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects9020062>

463. Othim S. T. O., Srinivasan R., Kahuthia-Gathu R., Dubois T., Dinssa F. F., Ekesi S., Fiaboe K. K. M. Screening for host plant resistance to Spoladea recurvalis (Lepidoptera: Crambidae) in amaranth. 2018.

464. Palada M. C., Crossman S. M. A. Fertility requirements of vegetable amaranth (Amaranthus tricolor L.) in an upland mineral soil of the Mid-South. *Acta Horticulturae*. 1998. Vol. 467. P. 339–346.

465. Pandey R. N., Yadav R. K. Effect of weed management practices on growth and yield of grain amaranth (Amaranthus hypochondriacus L.). *Agricultural Experiments Management System (AEMS)*. Narendra Deva University of Agriculture

and Technology. 2022. URL: https://aems.nau.in/Main/view_experiment/817 (дата звернення: 15.07.2025).

466. Park S. J., Sharma A., Lee H. J. A review of recent studies on the antioxidant activities of a third-millennium food: *Amaranthus* spp. *Antioxidants*. 2020. Vol. 9, № 12. Article 1236. DOI: 10.3390/antiox9121236.

467. Parmar J. K., Patel J. J. Effect of nitrogen management on growth and yield of grain amaranthus (*Amaranthus hypochondriacus* L.) grown on loamy sand soil. *Asian Journal of Soil Science*. 2008. Vol. 4, № 1. P. 106–109.

468. Parveen M., Khatun S. Integrated disease management of root rot and stem decay disease in *Amaranthus hybridus* caused by *Fusarium solani*. *Journal of Mycopathological Research*. 2022. Vol. 60, № 3. P. 363–375.

469. Pastor K., Acanski M. The chemistry behind amaranth grains. *Journal of Nutritional Health & Food Engineering*. 2018. Vol. 8, № 5. P. 358–360. DOI: 10.15406/jnhfe.2018.08.00295.

470. Patel K. I., Patel B. M., Patel S. J., Patel P. T., Patel S. M., Patel P. M. Effect of levels of nitrogen and iron on yield of grain amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.) under different planting techniques. *Agricultural Science Digest*. 2012. Vol. 32, № 3. P. 193–198. <https://arccjournals.com/journal/agricultural-science-digest/ARCC639>

471. Patidar K., Usadadiya V. P., Arvadiya L. K. Effect of weed management practices on growth, yield and economics of grain amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.) crop under south Gujarat condition. *International Journal of Research in Agronomy*. 2024. Vol. 7, № 12S. P. 35–39. DOI: <https://doi.org/10.33545/2618060X.2024.v7.i12Sa.2093>

472. Peiretti P. G. Amaranth in animal nutrition: A review. *Livestock Research for Rural Development*. 2018. Vol. 30. P. 1–20.

473. Pelech L. Influence of cultivation methods on the formation of individual productivity of amaranth. *Sciences of Europe*. 2021. Vol. 67. P. 21–27.

474. Petkova Z. Y., Antova G. A., Angelova-Romova M. I., Vaseva I. C. A comparative study on chemical and lipid composition of amaranth seeds with different origin. *Bulgarian Chemical Communications*. 2019. Vol. 51, № 2. P. 262–267.
475. Piecyk M., Worobiej E., Rębiś M., Rębiś Ż. Zawartość i charakterystyka składników odżywczych w produktach szarłatu. *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna*. 2009. Vol. 42, № 2. P. 147–153.
476. Písaříková B., Peterka J., Trčková M., Moudrý J., Zralý Z., Herzig I. Chemical Composition of the Above-ground Biomass of *Amaranthus cruentus* and *A. hypochondriacus*. *Acta Veterinaria Brno*. 2006. Vol. 75, № 1. P. 133–138. DOI: 10.2754/avb200675010133.
477. PlantVillage. Amaranth Diseases and Pests, Description, Uses, Propagation. URL: <https://plantvillage.psu.edu/topics/amaranth/infos> (дата звернення: 26.07.2025).
478. Pospíšil A., Pospíšil M., Varga B., Svečnjak Z. Grain yield and protein concentration of two amaranth species as influenced by nitrogen fertilizer. *European Journal of Agronomy*. 2006. Vol. 25, № 3. P. 250–253.
479. Pourfarid A., Kamkar B., Akbari G. A. The effect of density on yield and some agronomical and physiological traits of Amaranth (*Amaranthus* spp.). *International Journal of Farming and Allied Sciences*. 2014. Vol. 3, № 12. P. 1256–1259.
480. Procopet O., Oroian M. Amaranth Seed Polyphenol, Fatty Acid and Amino Acid Profile. *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12, № 4. Article 2181. DOI: 10.3390/app12042181.
481. Pulvento C., Lavini A., Riccardi M., D'Andria R., Ragab R. Assessing amaranth adaptability in a Mediterranean area of South Italy under different climatic scenarios. *Irrigation and Drainage*. 2015. Vol. 64, № 1. P. 50–58. DOI: 10.1002/ird.1906.
482. Pulvento C., Sellami M. H., Lavini A. Yield and quality of *Amaranthus hypochondriacus* grain amaranth under drought and salinity at various phenological

stages in southern Italy. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2022. Vol. 102, № 12. P. 5022–5033. DOI: 10.1002/jsfa.11088.

483. Pusz W. Ocena zdrowotności liści roślin z rodzaju *Amaranthus*. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Rolnictwo*. 2009. Vol. 95. P. 51–61.

484. Pusz W., Płaskowska E. *Phomopsis amaranthicola* – nowy patogen szarłatki uprawnej (*Amaranthus cruentus*). *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. 2008. Vol. 529. P. 175–182.

485. Rahman M. A., Hossain M. G., Ishika T., Aktar S. Nutritional and antioxidant components and antioxidant capacity in green morph *Amaranthus* leafy vegetable. *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10, No. 1. P. 1190.

486. Rahman M. M., Rahman G. K. M. M., Afrad M. S. I., Islam S. Effect of organic composts in red Amaranth and Spinach productivity and soil fertility. *Journal of Environmental Science & Natural Resources*. 2014. Vol. 7, № 2. P. 1–6.

487. Rajeshkanna S., Sivaraga N., Mikunthan G. Biology and management of *Amaranthus* stem borer (*Hypolixus truncatulus*) (Coleoptera: Curculionidae). *Annals of Sri Lanka Department of Agriculture*. 2017. Vol. 19. P. 258–266.

488. Rastogi A., Shukla S. Amaranth: A New Millennium Crop of Nutraceutical Values. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2013. Vol. 53, № 2. P. 109–125. DOI: 10.1080/10408398.2010.517876.

489. Repo-Carrasco R., Peña J., Kallio H., Salminen S. Dietary fiber and other functional components in two varieties of crude and extruded kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Journal of Cereal Science*. 2009. Vol. 49, № 2. P. 219–224.

490. Rivelli A. R., Gherbin P., De Maria S., Pizza S. Field evaluation of *Amaranthus* Species for Seed and Biomass Yields in Southern Italy. *Italian Journal of Agronomy*. 2008. Vol. 3, № 3. P. 225–229. DOI: 10.4081/ija.2008.225.

491. Rivero Meza S. L., Hirsch Ramos A., Cañizares L., Raphaelli C. O., Peres B. B., Gaioso C. A., Egea I., Estrada Y., Flores F. B., de Oliveira M. A review on amaranth protein: composition, digestibility, health benefits and food industry

utilisation. *International Journal of Food Science and Technology*. 2023. Vol. 58, No. 3. P. 1564–1574. DOI: 10.1111/ijfs.16056

492. Rivero Meza, S., Ramos, A., Cañizares, L., Raphaelli, C., Peres, B., Gaioso, C., Egea, I., Estrada Fortes, Y., Flores, F., Oliveira, M. (2022). A review on amaranth protein: composition, digestibility, health benefits and food industry utilisation. *International Journal of Food Science & Technology*, 58. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16056>

493. Romano R., Osvaldo C., Mendoza J. O., Castro E. S., Garza H. N., Mora O. F. Densidades de plantas y dosis de fertilización en el cultivo de Amaranto. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*. 2021. Vol. 12, № 5. P. 937–944. DOI: 10.29312/remexca.v12i5.2769.

494. Rosa R., Zaniewicz-Bajkowska A., Kosterna E., Franczuk J. Phacelia and amaranth catch crops in sweet corn cultivation part I corn yields. *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus*. 2012. Vol. 11, № 1. P. 145–159.

495. Roshchina Zh. V. Cultivation of amaranth in the link of irrigated crop rotation on ordinary chernozems of the Rostov region : thesis for candidate degree in agricultural sciences. Novocherkassk, 2007. 156 p.

496. Rossing W. A. H., Daamen R. A., Jansen M. J. W. Uncertainty analysis applied to supervised control of aphids and brown rust in winter wheat. Part 1. Quantification of uncertainty in cost-benefit calculations. *Agricultural Systems*. 1994. Vol. 44, No. 4. P. 419–448. DOI: [https://doi.org/10.1016/0308-521X\(94\)90196-M](https://doi.org/10.1016/0308-521X(94)90196-M).

497. Rotich A. N., Gweyi-Onyango J. P., Korir N. K. Diagonal offset arrangement and spacing architecture effect on growth and yield components of grain amaranth in Kenya. *Asian Research Journal of Agriculture*. 2017. Vol. 6, № 1. P. 1–8. DOI: 10.9734/ARJA/2017/35312.

498. Różewicz M. Nutritional value and potential uses of amaranth seeds and the outlook to increase the area under the amaranth crop in Poland. *Polish Journal of Agronomy*. 2021. Vol. 46. P. 40–48. DOI: 10.26114/pja.iung.466.2021.47.

499. Rusu T., Marin D. I., Ciontu C., Mihalache M., Moraru P. I., Sopterean M. L., Pop A. I. Researches on *Amaranthus* sp. Seed and Biomass Production in

Pedoclimatic Conditions of Somesan Plateau, Romania. *USAMV Agriculture*. 2010. Vol. 67, № 1. DOI: 10.15835/buasvmcn-agr:5082.

500. Ruth O. N., Unathi K., Nomali N., Chinsamy M. Underutilization versus nutritional-nutraceutical potential of the *Amaranthus* food plant: A Mini-Review. *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11, № 15. Article 6879. DOI: 10.3390/app11156879.

501. Sagdiev N. J., Ziyavitdinov J. F., Berdiev N. S., Bozorov S. S., Khudoyberdiev T. A., Olimjonov S. S., Vypova N. L., Asrorov A. M. Low abundant bovine colostrum proteins in combination with amaranth oil reveal topical analgesic activity. *Nova Biotechnologica et Chimica*. 2022. Vol. 21, № 1. Article e1246. DOI: 10.36547/nbc.1246.

502. Sánchez-López F., Robles-Olvera V. J., Hidalgo-Morales M., Tsopmo A. Characterization of *Amaranthus hypochondriacus* seed protein fractions, and their antioxidant activity after hydrolysis with lactic acid bacteria. *Journal of Cereal Science*. 2020. Vol. 95. P. 103075–103081. DOI: 10.1016/j.jcs.2020.103075.

503. Sanni K. O. Effect of compost, cow dung and NPK 15-15-15 fertiliser on growth and yield performance of Amaranth (*Amaranthus hybridus*). *International Journal of Advances in Scientific Research*. 2016. Vol. 2, № 3. P. 76–82.

504. Sarker U., Islam MD. T., Rabbani MD. G., Oba S. Genetic variation and interrelationships among antioxidant, quality, and agronomic traits in vegetable amaranth. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 2016. Vol. 40, № 4. Article 5. DOI: 10.3906/tar-1405-83.

505. Sarker U., Oba S. Color Attributes, Betacyanin, and Carotenoid Profiles, Bioactive Components, and Radical Quenching Capacity in Selected *Amaranthus Gangeticus* Leafy Vegetables. *Scientific Reports*. 2021. Vol. 11, № 1. Article 11559. DOI: 10.1038/s41598-021-91157-8.

506. Sarker U., Oba S. Nutritional and bioactive constituents and scavenging capacity of radicals in *Amaranthus hypochondriacus*. *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10. Article 19962. DOI: 10.1038/s41598-020-71714-3

507. Sarker U., Hossain M. N., Oba S., Ercisli S., Marc R. A., Golokhvast K. S. Physiological and Biochemical Mechanisms Associated with Trehalose-Induced

Drought Tolerance in *Amaranthus tricolor* L. *Scientific Reports*. 2021. Vol. 11. Article 19399. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-98965-y>.

508. Sattar M., Saeed F., Afzaal M., Rasheed A., Asif A., Sharif S., Al Jbawi E. An overview of the nutritional and therapeutic properties of amaranth. *International Journal of Food Properties*. 2024. Vol. 27, № 1. P. 263–272.

509. Sayed-Ahmad B., Urrutigoñty M., Hijazi A., Saad Z., Cerny M., Evon P., Talou T., Merah O. Amaranth Oilseed Composition and Cosmetic Applications. *Separations*. 2022. Vol. 9. Article 181. DOI: 10.3390/separations9070181.

510. Schmidt D., Verruma-Bernardi M. R., Forti V. A., Borges M. T. M. R. Quinoa and Amaranth as Functional Foods: A Review. *Food Reviews International*. 2023. Vol. 39, No. 4. P. 2277–2296. DOI: 10.1080/87559129.2021.1950175

511. Sefasi, A., Nyasulu, M., Kamanga, R., Yalaukani, L., Katengeza, S., Monjerezi, M., Malidadi, C., Masamba, K. (2025). Multivariate analysis for yield and yield-related traits of amaranth Accessions from Malawi. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-7029686/v1>

512. Seni A. R. Insect pests of amaranthus and their management. *International Journal of Environment Agriculture and Biotechnology*. 2018. Vol. 3, No. 3. P. 1100–1103. DOI: <https://doi.org/10.22161/ijeab/3.3.50>

513. Shankar K. S., Devi Ch. A., Rao C. S. V. R. Phytoremediation of Heavy Metals with *Amaranthus dubius* in Semi-arid Soils of Patancheru, Andhra Pradesh. *Research Journal of Recent Sciences*. 2020. Vol. 9, № 2. P. 1–8.

514. Shankar K. S., Devi Ch. A., Rao C. S. V. R. Phytoremediation of heavy metals contaminated soil samples obtained from mechanic workshop and dumpsite using *Amaranthus spinosus*. *Environmental Challenges*. 2022. Vol. 8. P. 100555.

515. Sharma A., Kapoor D., Wang P., Gautam S., Sharma S., Khare T., Anshika, Bhardwaj R. Phytoremediation technologies and their mechanism for removal of heavy metal from contaminated soil: An approach for a sustainable environment. *Frontiers in Plant Science*. 2023. Vol. 14. P. 1076876. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1076876>

516. Shoniyozov B., Ortikov T. Influence of doses of nitrogen fertilizers on the chemical composition of amaranth plants. *Academic research in modern science : proceedings of international scientific-online conference*. 2023. Vol. 2, № 3. P. 136–139. DOI: 10.5281/zenodo.7593488.
517. Shukla A., Srivasta N., Suneja P., Yadav S. K., Hussain Z., Rana J. C., Yadav S. Untapped amaranth (*Amaranthus* spp.) genetic diversity with potential for nutritional enhancement. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2018. Vol. 65. P. 243–253. DOI: 10.1007/s10722-017-0526-0..
518. Shukla D. K., Prasad B., Pratap T. Weed management strategies for better yield and economics of grain amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) in mountain agriculture. *Journal of Hill Agriculture*. 2014. Vol. 5, No. 2. P. 194–197.
519. Shukla S., Bhargava A., Chatterjee A., Pandey A. C. H., Kumar A. R. A. Genetic interrelationship among nutritional and quantitative traits in the vegetable amaranth. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*. 2010. Vol. 10. P. 16–22.
520. Shukla S., Bhargava A., Chatterjee A., Srivastava A., Singh S. P. Genotypic Variability in Vegetable Amaranth (*Amaranthus tricolor* L.) for Foliage Yield and Its Contributing Traits over Successive Cuttings and Years. *Euphytica*. 2006. Vol. 151. P. 103–110. DOI: 10.1007/s10681-006-9134-3.
521. Silva A. L., Bianchini A., Santos M. A., Costa P. M. C., Pereira P. S. X. Emergence and Initial Development of Amaranth (*Amaranthus cruentus* L.) BRS Alegria at Different Depths of Seeding and Water Availability. *Journal of Experimental Agriculture International*. 2019. Vol. 41, № 2. P. 1–9. DOI: 10.9734/JEAI/2019/v41i230393.
522. Silva E. M., Souza M. M. A., Saggin Júnior O. J., Silva E. M. R., Coelho I. S. Amaranth Response to Water Stress. *Journal of Experimental Agriculture International*. 2019. Vol. 40, No. 1. P. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.9734/jeai/2019/v40i130356>.
523. Singh A., Stetter M. G. Genetic diversity and geographic range assessments for conservation and utilization of grain amaranth. *Theoretical and Applied Genetics*. 2025. Vol. 138, No. 1. P. 1–15. DOI: 10.1007/s00122-025-04940-w

524. Singh M. C., Phogat B. S., Raiger H. L. Effect of different weed control practices on rain amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.). *International Journal of Science and Environment*. 2017. Vol. 7, No. 1. P. 849–853.
525. Singh S., Parihar P., Singh R., Singh V. P., Prasad S. M. Heavy Metal Tolerance in Plants: Role of Transcriptomics, Proteomics, Metabolomics, and Ionomics. *Frontiers in Plant Science*. 2016. Vol. 6. P. 1143. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01143>
526. Sitkey V., Gaduš J., Kliský L., Dudák A. Biogas production from amaranth biomass. *Acta regionalia et environmentalica*. 2013. Vol. 10, № 2. P. 59–62. DOI: 10.2478/aree-2013-0013.
527. Skwaryło-Bednarz B. Assessment of content of fat and tocopherols in seeds of amaranthus in relation to diversified fertilization with macroelements. *Ecological Chemistry and Engineering*. 2012. Vol. 19, № 2. P. 273–279.
528. Skwaryło-Bednarz B. Ocena właściwości biologicznych gleby pod uprawą szarłatu (*Amaranthus cruentus* L.). *Acta Agrophysica*. 2008. Vol. 12, № 2. P. 527–534.
529. Skwaryło-Bednarz B. Zawartość tłuszczu oraz tokoferoli w nasionach krajowych odmian szarłatu (*Amaranthus cruentus* L.) w warunkach zróżnicowanego nawożenia makroelementami. *Acta Agrophysica*. 2010. Vol. 15, № 2. P. 409–415.
530. Skwaryło-Bednarz B., Brodowska M. S., Brodowski R. Evaluating the influence of varied NPK fertilization on yielding and microelements contents at amaranth (*Amaranthus cruentus* L.) depending on its cultivar and plant spacing. *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus*. 2011. Vol. 10, № 4. P. 245–261.
531. Skwaryło-Bednarz B., Brodowska M. S., Onuch J., Sapuła J. Plonowanie krajowych odmian szarłatu (*Amaranthus cruentus* L.) w warunkach zróżnicowanego nawożenia makroelementami. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, sectio E, Agricultura*. 2014. Vol. 69, № 2. P. 37–43.
532. Skwaryło-Bednarz B., Krzepiło A. Zróżnicowane nawożenie NPK w szerokokorządej uprawie szarłatu (*Amaranthus cruentus* L.) a całkowita zdolność

antyoksydacyjna liści oraz gleby pod tą rośliną. *Acta Agrophysica*. 2008. Vol. 12, № 1. P. 173–180.

533. Skwaryło-Bednarz B., Stepniak P. M., Jamiolkowska A., Kopacki M. The amaranth seeds as a source of nutrients and bioactive substances in human diet. *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus*. 2020. Vol. 19, № 6. P. 153–164. DOI: 10.24326/asphc.2020.6.13.

534. Śmigierska K. Badania nad doskonaleniem uprawy na nasiona szarłatu krwistego (*Amaranthus cruentus* L.) odmiany Rawa. Bydgoszcz : Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy im. J. J. Śniadeckich, 2016. 137 p.

535. Sokolova D., Shelenga T., Zvereva O., Solovieva A. Comparative characteristics of the amino acid composition in amaranth accessions from the VIR Collection. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 2021. Vol. 45, № 1. P. 68–78. DOI: 10.3906/tar-2007-7.

536. Sokoto M. B., Johnbosco O. I. Growth and yield of amaranths (*Amaranthus* spp.) as influenced by seed rate and variety in Sokoto, Nigeria. *Archives of Agriculture and Environmental Science*. 2017. Vol. 2, № 2. P. 79–85.

537. Soriano-García M., Arias-Olguín II, Montes J. Nutritional functional value and therapeutic utilization of Amaranth. *Journal of Analytical & Pharmaceutical Research*. 2018. Vol. 7, № 5. P. 596–600. DOI: 10.15406/japlr.2018.07.00288.

538. Soriano-García M., Saraid Aguirre-Díaz I. Nutritional functional value and therapeutic utilization of amaranth. *IntechOpen*. 2019. P. 1–28. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.86897>

539. Sots S., Kustov I., Lapinska A., Kotsiuk A., Chehlatoniev V. Амарант: проблеми і перспективи переробки. *Grain Products and Mixed Fodder's*. 2024. Vol. 24, № 2. P. 4–9. DOI: <https://doi.org/10.15673/gpmf.v2024i2.2815>.

540. Stănilă A., Cioanca B., Diaconeasa Z., Stănilă S., Sima N., Sima R. M. Phytochemical composition and antioxidant activity of various grain Amaranth cultivars. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici*. 2019. Vol. 47, № 4. P. 1153–1160. DOI: <https://doi.org/10.15835/nbha47411714>.

541. Stankevych G., Valentiuk N., Ovsiannikova L., Zhygunov D. Changes in quality of amaranth grain in the course of postharvest handling and storage. *Food Science and Technology*. 2021. Vol. 15, № 1. P. 80–90. DOI: <https://doi.org/10.15673/fst.v15i1.1959>.
542. Starczewski J., Maksymiak R. Wpływ wybranych czynników agrotechnicznych na plonowanie szarłatu uprawnego (*Amaranthus ssp.*). *Zeszyty Naukowe Akademii Podlaskiej w Siedlcach, Seria Rolnictwo*. 2001. № 60. P. 65–74.
543. Stetter M. G., et al. Assessing and mining grain amaranth diversity for sustainable cropping systems. *Theoretical and Applied Genetics*. 2025. Vol. 138. Article 23. <https://doi.org/10.1007/s00122-025-04940-w>
544. Stetter M. G., Schmid K. J. Analysis of phylogenetic relationships and genome size evolution of the *Amaranthus* genus using GBS indicates the ancestors of an ancient crop. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 2017. Vol. 109. P. 80–92. DOI: 10.1016/j.ympev.2016.12.029.
545. Stetter M. G., Vidal-Villarejo M., Schmid K. J. Parallel seed color adaptation during multiple domestication attempts of an ancient New World grain. *Molecular Biology and Evolution*. 2020. Vol. 37. P. 1407–1419.
546. Sun X., Sun Y., Ma L., Zhao F., Heuschele D. J., Grettenberger I. M., Smith K. P., Langin K. M., MacRae I. V., Kerns D. L. Multidecadal, continent-level analysis indicates agricultural practices impact wheat aphid loads more than climate change. *Communications Biology*. 2022. Vol. 5. Article 761. DOI: <https://doi.org/10.1038/s42003-022-03731-z>.
547. Szabóová M, Záhorský M, Gažo J, Geuens J, Vermoesen A, D'Hondt E, Hricová A. Differences in Seed Weight, Amino Acid, Fatty Acid, Oil, and Squalene Content in γ -Irradiation-Developed and Commercial Amaranth Varieties (*Amaranthus ssp.*). *Plants*. 2020; 9(11):1412. <https://doi.org/10.3390/plants9111412>
548. Tabrizi E. F. M., Yarnia M., Rashidi V., Rahimzadeh K. F., Khorshidi B. M. B. Effect of nitrogen and micro fertilizer application on the yield of amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L. $\times$ *Amaranthus hybridus* L.) cv. Koniz. *Research on Crops*. 2013. Vol. 14, № 3. P. 711–715.

549. Talukder M. R., Riazuddin M., Khan M. S. Efficacy of fungicides to control white rust (*Albugo occidentalis*) of red amaranth (*Amaranthus* sp.). *Agricultural and Food Sciences*. 2016. Vol. 27, No. 4. P. 267–273.
550. Tang Y., Tsao R. Phytochemicals in quinoa and amaranth grains and their antioxidant, anti-inflammatory, and potential health beneficial effects: A review. *Molecular Nutrition & Food Research*. 2017. Vol. 61, No. 7. P. 1600767. DOI: <https://doi.org/10.1002/mnfr.201600767>
551. Tara J. S., Azam M., Ayri S., Feroz M., Ramamurthy V. Bionomics of *Hypolixus truncatulus* (Coleoptera, Curculionidae, Lixinae, Lixini), a major pest of *Amaranthus caudatus* L. *Munis Entomology & Zoology*. 2009. Vol. 4, No. 2. P. 510–518.
552. Tayade M. S., Bawkar S. O., Kale V. S., Deshmukh U. B. Integrated nutrient management in amaranthus (*Amaranthus tricolor* L.). *Asian Journal of Horticulture*. 2012. Vol. 7, № 2. P. 291–293.
553. Tejeda-Sartorius O., Vaquera-Huerta H., Cadena-Iñiguez J. Effect of amaranth residues (*Amaranthus hypochondriacus* L.) on weed control and yield of radish, onion and carrot. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 2011. Vol. 9, № 1. P. 284–295. DOI: 10.5424/sjar/20110901-040-10.
554. Thapa R., Edwards M., Blair M. W. Relationship of cultivated grain Amaranth species and wild relative accessions. *Genes*. 2021. Vol. 12, № 12. Article 1849. DOI: 10.3390/genes12121849.
555. Tian F., Qiao C., Wang C., Yu H., Li M., Chang X., Liu Y., Sun X. Comparison of the effectiveness of thiamethoxam and its main metabolite clothianidin after foliar spraying and root irrigation to control *Myzus persicae* on peach. *Scientific Reports*. 2022. Vol. 12. Article 16883. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-20659-w>.
556. Toader M., Ionescu A. M., Sonea C., Georgescu E. Research on the morphology, biology, productivity and yields quality of the *Amaranthus cruentus* L. in the southern part of Romania. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 2020. Vol. 48, № 3. P. 1413–1425. DOI: 10.15835/nbha48311973.

557. Topwal M. A Review on Amaranth: Nutraceutical and Virtual Plant for Providing Food Security and Nutrients. *Acta Scientiarum Agriculture*. 2019. Vol. 3, № 1. P. 9–15.
558. Torres E. V., Valencia E., Simsek S., Linares Ramírez Á. M. Amaranth: A multipurpose agro-industrial crop. *Agronomy*. 2024. Vol. 14, No. 10. Article 2323. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy14102323>.
559. Tőzsér D., Yelamanova A., Sipos B., Magura T., Simon E. A meta-analysis on the heavy metal uptake in *Amaranthus* species. *Environmental Science and Pollution Research*. 2023. Vol. 30. P. 85102–85112. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-023-28374-3>
560. Twinomuhwezi H., Awuchi C. G., Rachael M. Comparative Study of the Proximate Composition and Functional Properties of Composite Flours of Amaranth, Rice, Millet, and Soybean. *American Journal of Food Science and Nutrition*. 2020. Vol. 6, № 1. P. 6–19.
561. Tyrus M., Lykhochvor V. Yield of Amaranth (*Amaranthus*) depending on the cultivar in the conditions of Ukrainian Western Forest-Steppe. *Scientific Horizons*. 2021. Vol. 24, № 10. P. 43–51. DOI: [https://doi.org/10.48077/scihor.24\(10\).2021.43-51](https://doi.org/10.48077/scihor.24(10).2021.43-51)
562. Tyrus M., Lykhochvor V., Hnativ P. Amaranth: a multi-purpose crop for war-torn land. *International Journal of Environmental Studies*. 2023. Vol. 80, № 2. P. 497–506. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207233.2023.2178207>
563. Tyrus M. Yield of amarant depending on the variety. *Digital transformation and technologies for sustainable development all branches of modern education, science and practice* [Electronic resource]: International Scientific and Practical Conference Proceeding, January 26, 2023. Lomza, Poland, 2023. Part 3. P. 209 - 214.
564. Tyrus M., Lykhochvor V. Yielding capacity of amaranth grain (*Amaranthus hypochondriacus*) depending on fertilizers. *Journal of Central European Agriculture* 2022, 23 (4) p. 800-806. DOI: <https://doi.org/10.5513/JCEA01/23.4.3528>

(Scopus (Q3)) *(Ідея роботи, планування і проведення досліджень, узагальнення результатів, підготовка до друку).*

565. Tyrus, M., Lykhochvor, V., Dudar, I., Stefaniuk, S., Andrushko, O. Amaranth yield depending on the sowing rate. *Scientific Horizons*, 2023. Vol. 26, No. 8. P. 33-42. <https://doi.org/10.48077/scihor8.2023.33> (Scopus, WoS (Q3)) <https://sciencehorizon.com.ua/en/journals/tom-26-8-2023/urozhaynist-amarantu-zalezghno-vid-normi-visivu> *(Ідея роботи, планування і проведення досліджень, узагальнення результатів, підготовка до друку).*

566. Tyrus, M., Lykhochvor, V., Hnativ, P., Szulc, W., Rutkowska, B., Andrushko, O., Rozko, I., Lytvyn, O., Dudar, I. and Pavkovych, S. (2024) 'The effect of mineral fertilizer rates on amaranth grain quality in the wet climate of Western Ukraine', *Journal of Elementology*, 29(3), 635-646, available: <https://doi.org/10.5601/jelem.2024.29.2.3359> (Scopus, WoS (Q4)) *(Ідея роботи, планування і проведення досліджень, узагальнення результатів, підготовка до друку).*

567. Ukraine six times increased area under organic amaranth. *Agro Alliance*. 2018. URL: <http://agro-alliance.ltd/en/news/ukraina-v-shist-raziv-zbilshila-ploschi-pid-organi> (дата звернення: 15.06.2025).

568. University of California Agriculture and Natural Resources. What Is Integrated Pest Management? *UC IPM Program*. URL: <https://ipm.ucanr.edu/GENERAL/whatisipmurban.html> (дата звернення: 26.07.2025).

569. University of Florida IFAS Extension. Production Guide of Vegetable Amaranth for Florida. HS1407. 2024. URL: <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/HS1407> (дата звернення: 26.07.2025).

570. Ur Rahman Shafeeq, Li Yanliang, Hussain Sajjad, Hussain Babar, Khan Waqas Ud Din, Riaz Luqman, Ashraf Muhammad Nadeem, Khaliq Muhammad, Du Zhenjie, Cheng Hefa. Role of phytohormones in heavy metal tolerance in plants: A review. *Ecological Indicators*. 2023. Vol. 146. P. 1470–160. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109844>.

571. US Environmental Protection Agency. Integrated Pest Management (IPM) Principles. URL: <https://www.epa.gov/safepestcontrol/integrated-pest-management-ipm-principles> (дата звернення: 26.07.2025).

572. Valadez-Vega C, Lugo-Magaña O, Figueroa-Hernández C, Bautista M, Betanzos-Cabrera G, Bernardino-Nicanor A, González-Amaro RM, Alonso-Villegas R, Morales-González JA, González-Cruz L. Effects of germination and popping on the anti-nutritional compounds and the digestibility of *Amaranthus hypochondriacus* Seeds. *Foods*. 2022. 11(14). 2075. <https://doi.org/10.3390/foods11142075>

573. Venskutonis P. R., Kraujalis P. Nutritional components of amaranth seeds and vegetables: A Review on Composition, Properties, and Uses. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2013. Vol. 12, No. 4. P. 381–408. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12021>

574. Venskutonis P. R., Kraujalis P., Nutritional components of amaranth seeds and vegetables: A Review on Composition, Properties, and Uses. *Institute of Food Science Technologist*, 2013. 12. 4. 381-408. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12021>

575. Venancio W. S., Rodrigues M., Begliomini E., Souza N. L. Physiological effects of strobilurin fungicides on plants. *Ponta Grossa*. 2003. Vol. 9. P. 59–68.

576. Víglaský J., Húska J., Langová N., Suchomel J. Multifunctional use of amaranth phytomass for industry and energy. 5th International Symposium of the: Amaranth - Plant for the Future : book of abstracts, Nitra, Slovak Republic, November 9–14, 2008. Nitra, 2008. P. 84–91.

577. Vorsah R. V., Dingha B. N., Gyawaly S., Fremah S. A., Sharma H., Bhowmik A., Worku M., Jackai L. E. Organic Mulch Increases Insect Herbivory by the Flea Beetle Species, *Disonycha glabrata*, on *Amaranthus* spp. *Insects*. 2020. Vol. 11, No. 3. Article 162. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects11030162>.

578. Vujacic V., Momirovic G. S., Perovic D., Nikolic A. Variability, heritability and classification of *Amaranthus* genotypes by hierarchical analysis. *Romanian Agricultural Research*. 2014. № 31. P. 59–67.

579. Wang X. et al. The effects of long term application of fomesafen on weed seedbank and resistance levels of *Amaranthus retroflexus* L. *Frontiers in Plant Science*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1424760>
580. Weller S., Florentine S., Javaid M. M., Welgama A., Chadha A., Chauhan Bhagirath Singh, Turville Christopher. *Amaranthus retroflexus* L. (Redroot Pigweed): Effects of Elevated CO₂ and Soil Moisture on Growth and Biomass and the Effect of Radiant Heat on Seed Germination. *Agronomy*. 2021. Vol. 11, № 4. Article 728. DOI: [10.3390/agronomy11040728](https://doi.org/10.3390/agronomy11040728).
581. West Coast Seeds. How to Grow Amaranth Grain. URL: <https://www.westcoastseeds.com/blogs/wcs-academy/grow-amaranth> (дата звернення: 26.07.2025).
582. Wójcik-Stopczyńska B. Szarłat – pseudozboże o wielkich zaletach. *Panacea*. 2018. URL: <https://panacea.pl/szarlat-pseudozboze-o-wielkich-zaletach/> (дата звернення: 01.06.2025).
583. Wolosik K., Markowska A. *Amaranthus Cruentus* Taxonomy, Botanical Description, and Review of its Seed Chemical Compositio. *Natural Product Communications*. 2019. 14(5). 1-10. <https://doi.org/10.1177/1934578X19844141>
584. Xoshimjonova N. Amaranth - as an unconventional multipurpose culture. *Science and Education*. 2020. Vol. 1, № 6. P. 27–34.
585. Xu C., Zhang H., Mu X., Li C., Xue F., Qi J., Wang H. Multiple Regression and Artificial Neural Network for the Prediction of Crop Pest Risks. *Computer and Computing Technologies in Agriculture VIII*. 2015. P. 73–81. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-24399-3_7.
586. Xu L., Wang Y., Liu X., Zhang J., Chen M. Green manuring crop plants: Harnessing natural processes to enhance soil health and promote sustainable agricultural practices. *Preprints*. 2023. № 2024060340.
587. Yadav A., Yadav K. From humble beginnings to nutritional powerhouse: the rise of amaranth as a climate-resilient superfood. *Tropical Plants*. 2024. Vol. 3. P. e037. <https://doi.org/10.48130/tp-0024-0037>

588. Yan A., Wang Y., Tan S. N., Mohd Yusof M. L., Ghosh S., Chen Z. Phytoremediation: A Promising Approach for Revegetation of Heavy Metal-Polluted Land. *Frontiers in Plant Science*. 2020. Vol. 11. P. 359. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00359>
589. Yeshitila M., Gedebo A., Olango T. M., Tesfaye B. Morphological characterization, variability, and diversity among amaranth genotypes from Ethiopia. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2023. Vol. 70. P. 2607–2636. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10722-023-01591-y>.
590. Yap C. K., Chew W., Al-Shami S. A., Nulit R., Ibrahim M. H., Wong K. W., Bakhtiari A. R. Potentially Toxic Metals in the High-Biomass Non-Hyperaccumulating Plant *Amaranthus viridis*: Human Health Risks and Phytoremediation Potentials. *Biology*. 2022. Vol. 11, № 3. P. 389. DOI: <https://doi.org/10.3390/biology11030389>
591. Yashaswini M. S., Nysanth N. S., Anith K. N. Endospore-forming bacterial endophytes from *Amaranthus* spp. improve plant growth and suppress leaf blight (*Rhizoctonia solani* Kühn) disease of *Amaranthus tricolor* L. *Rhizosphere*. 2021. Vol. 19. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2021.100387>.
592. Yu Zhou, Wendi Lan, Fan Yang, Qingfan Zhou, Mingxin Liu, Jian Li, Hua Yang, Yunhua Xiao, Invasive *Amaranthus* spp. for heavy metal phytoremediation: Investigations of cadmium and lead accumulation and soil microbial community in three zinc mining areas, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Volume 285, 2024, 117040, ISSN 0147-6513, <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.117040>.
593. Zaman H., Suchi H. Z., Tabassum N., Rahman M. Response of Growth, Biomass Production and Nutrient Uptake of Red Amaranth (*Amaranthus Tricolor* L.) To Various Organic Manures and Chemical Fertilizers. *Journal of Biodiversity Conservation and Bioresource Management*. 2022. Vol. 7, № 2. P. 73–82. DOI: 10.3329/jbcbm.v7i2.60152.
594. Zeta Cypermethrin; Pesticide Tolerances. *Federal Register*. 2012. URL: <https://www.federalregister.gov/documents/2012/12/07/2012-29683/zeta-cypermethrin-pesticide-tolerances> (дата звернення: 14.02.2025).

595. Zhang Z., Zhang S., Yang J., Yi W. Structural, nutritional, and functional properties of amaranth protein and its application in the food industry: A review. *Sustainable Food Proteins*. 2023. Vol. 1, No. 2. P. 78–94. <https://doi.org/10.1002/sfp2.1002>
596. Zhang Z.-S.; Kang Y.-J.; Che L. Composition and thermal characteristics of seed oil obtained from Chinese Amaranth. *LWT Food Sci. Technol.* 2019. 111. 39–45.
597. Zhou G., Fan K., Gao S., Li G., Chang D., Liang T., Zhang Y. Green manuring relocates microbiomes in driving the soil functionality of nitrogen cycling to obtain preferable grain yields in thirty years. *Science China Life Sciences*. 2024. Vol. 67, No. 3. P. 596–610.
598. Zhou Y., Lan W., Yang F., Zhou Q., Liu M., Li J., Yang H., Xiao Y. Invasive *Amaranthus* spp. for heavy metal phytoremediation: Investigations of cadmium and lead accumulation and soil microbial community in three zinc mining areas. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2024. Vol. 285. P. 117040.
599. Ziarati P, Alaedini S (2014) The Phytoremediation Technique for Cleaning up Contaminated Soil By sp. *J. Environ Anal Toxicol* 4: 208. doi: 10.4172/2161-0525.1000208
600. Zubillaga M. F., Camina R., Oriolo G. A., Barrio D. A. Response of *Amaranthus cruentus* 'Mexicano' to nitrogen fertilization under irrigation in the temperate, semiarid climate of North Patagonia Argentina. *Journal of Plant Nutrition*. 2019. Vol. 42, № 2. P. 99–110. DOI: 10.1080/01904167.2018.1549675.

ДОДАТКИ

Додаток А.1

Кліматичні умови проведення досліджень 2019 року

Місяць	Середня температура, °С	Максимальна температура, °С	Мінімальна температура, °С	Опадів всього, мм
Січень	-3,5	5,3	-15,3	62,7
Лютий	1,6	12,3	-8,1	22,8
Березень	4,8	17,6	-7,9	25,4
Квітень	10	25,2	-2,3	36,6
Травень	13,1	25,2	-0,4	161,4
Червень	21,1	30,9	9,3	41,4
Липень	18,2	31,8	5,6	73,8
Серпень	19,7	30,4	8,3	101,6
Вересень	14,3	28,8	1,0	50,4
Жовтень	10,3	24,1	-2,8	29
Листопад	6,3	16,2	-5,2	43,3
Грудень	2,4	15,6	-9,9	51,9
	9,9	21,95	-2,3	700,3

Додаток А.2

Кліматичні умови проведення досліджень 2020 року

Місяць	Середня температура, °С	Максимальна температура, °С	Мінімальна температура, °С	Опадів всього, мм
Січень	0,6	9,5	-8,3	33
Лютий	2,3	12,3	-11,5	81,3
Березень	4,6	17,1	-8,5	36,2
Квітень	8,7	23,1	-5,9	7,3
Травень	10,8	25,8	-1,5	148,4
Червень	18,4	29,5	4,1	140,3
Липень	18,8	29,6	7,2	80,9
Серпень	20,0	31,9	9,7	39,1
Вересень	15,1	28,6	2,8	101,2
Жовтень	10,8	21,7	2,0	52,1
Листопад	3,9	13,1	-6,5	17,1
Грудень	1,0	9,5	-6,6	55,5
	9,6	21,0	-1,9	792,4

Додаток А.3

Кліматичні умови проведення досліджень 2021 року

Місяць	Середня температура, °С	Максимальна температура, °С	Мінімальна температура, °С	Опадів всього, мм
Січень	-1,4	9,2	-18,2	49,9
Лютий	-2,7	13,1	-19,6	117,9
Березень	1,7	16,7	-8,0	51,1
Квітень	5,9	20,2	-3,8	38,6
Травень	12,7	24,2	-0,9	50,8
Червень	18,4	32,4	4,9	94,4
Липень	21,7	31,8	12,8	47,1
Серпень	17,3	30,1	7,3	127,9
Вересень	12,9	24,5	2,5	97,3
Жовтень	8,0	18,2	-2,6	6,7
Листопад	4,4	13,3	-4,3	35
Грудень	-1,8	7,8	-14,6	95,1
	8,1	20,1	-3,7	811,8

Додаток А.4

Кліматичні умови проведення досліджень 2022 року

Місяць	Середня температура, °С	Максимальна температура, °С	Мінімальна температура, °С	Опадів всього, мм
Січень	-0,8	9,4	-17,2	65,7
Лютий	2,1	9,8	-7,6	25,6
Березень	4,3	18,3	-7,9	16
Квітень	6,3	18,7	-3,7	68,6
Травень	14,1	27,3	0,8	20,6
Червень	19,4	33,0	6,8	43,6
Липень	19,5	32,7	8,0	93,6
Серпень	20	30,0	10,2	68
Вересень	12,3	21,3	2,4	135,8
Жовтень	10,8	26,2	0,1	15,8
Листопад	0,3	2,7	-1,4	0
Грудень	0,3	10,9	-10,4	0
	9,05	20,0	-1,7	553,3

Додаток А.5

Кліматичні умови проведення досліджень 2023 року

Місяць	Середня температура, °С	Максимальна температура, °С	Мінімальна температура, °С	Опадів всього, мм
Січень	1,9	14,7	-3,60	48,6
Лютий	0,0	8,5	-13,80	63,9
Березень	4,6	17,6	-6,60	67,6
Квітень	7,8	19,8	-2,00	49,3
Травень	14,0	24,2	3,20	23,6
Червень	17,0	29,2	5,60	107,8
Липень	19,6	30,7	8,00	120
Серпень	20,9	32,9	9,10	64,6
Вересень	17,1	28,2	7,60	58,6
Жовтень	11,1	22,5	-1,70	65,6
Листопад	3,8	15,4	-9,40	69,6
Грудень	1,3	11,0	-10,60	70,8
	9,9	21,2	-1,18	810

Додаток А.6

Кліматичні умови проведення досліджень 2024 року

Місяць	Середня температура	Максимальна температура	Мінімальна температура	Опадів всього
Січень	-1,2	7,3	-20,3	75,2
Лютий	5,6	16,9	-5,8	50,4
Березень	5,7	22,6	-5,4	79,3
Квітень	11,2	25	-0,9	52,8
Травень	15,7	27,6	0,5	7,6
Червень	19,4	31	8,1	96,4
Липень	21,4	33,8	9,5	75,6
Серпень	20,8	31,2	10	73,6
Вересень	17,2	28,9	5,7	90
Жовтень	9	23,1	-1,7	44,6
Листопад	2,3	17,7	-5,4	26,5
Грудень	0,8	10,7	-9,6	42,6
	10,7	23,0	-1,3	714,6

Додаток Б.1

Польова схожість сорту Харківський 1 залежно від добрив, %
2019 рік

Варіант	Середнє	Повторення			
		I	II	III	IV
1	46	45	47	46	46
2	45	46	44	45	45
3	44	43	45	44	44
4	43	44	43	45	40
5	41	39	42	41	42
6	40	41	38	41	40
7	39	38	41	38	39

Додаток Б.2

Польова схожість сорту Харківський 1 залежно від добрив, %
2020 рік

Варіант	Середнє	Повторення			
		I	II	III	IV
1	45	46	44	46	44
2	43	41	45	41	45
3	42	44	40	43	41
4	41	40	42	41	41
5	40	41	39	39	41
6	39	40	38	38	40
7	39	38	38	40	40

Додаток Б.3

**Полюва схожість сорту Харківський 1 залежно від добрив, %
2021 рік**

Варіант	Середнє	Повторення			
		I	II	III	IV
1	64	66	61	65	64
2	62	60	64	59	65
3	61	64	59	63	58
4	60	59	63	59	59
5	58	60	56	61	55
6	57	54	59	55	60
7	56	57	55	58	54

Додаток Б.4

**Полюва схожість амаранту сорту Харківський 1 залежно від норми
висіву, %
2020 рік**

Варіант	Середнє	Повторення			
		I	II	III	IV
1	66	65,7	65,9	66,1	66,3
2	66	66,1	66,4	66,1	65,4
3	63	62,9	63,3	62,8	63
4	59	59,5	58,8	59,3	58,4
5	59	59,4	58,3	59,4	58,9
6	57	56,4	57,3	57,1	57,2

Додаток Б.5

Польова схожість амаранту сорту Харківський 1 залежно від норми висіву, %
2021 рік

Варіант	Середнє	Повторення			
		I	II	III	IV
1	76	75,7	76,1	76,3	75,9
2	73	72,3	72,9	73,5	73,3
3	68	67,4	67,5	68,6	68,5
4	68	68,5	68,1	67,3	68,1
5	67	67,1	66,8	67,2	66,9
6	65	64,6	64,8	65,5	65,1

Додаток Б.6

Польова схожість амаранту сорту Харківський 1 залежно від норми висіву, %
2022 рік

Варіант	Середнє	Повторення			
		I	II	III	IV
1	68	68,4	67,7	67,6	68,3
2	65	65,3	64,5	65,2	65
3	64	63,7	64,6	64,2	63,5
4	62	61,5	62,4	62,6	61,5
5	60	59,8	59,7	60,3	60,2
6	58	58,4	57,7	57,9	58

Додаток Б.7

Вплив строків сівби на польову схожість амаранту сорту Лєра, %
2021 р

Варіант	Середнє	Повторення			
		I	II	III	IV
1	56	58	55	58	53
2	57	55	60	56	57
3	75	77	72	78	73
4	77	76	78	75	79
5	78	82	74	80	76
6	79	77	82	75	82
7	77	79	75	78	76
8	76	73	79	74	78

Додаток Б.8

Вплив строків сівби на польову схожість амаранту сорту Лєра, %
2022 р.

Варіант	Середнє	Повторення			
		I	II	III	IV
1	60	62	57	61	60
2	66	64	68	63	69
3	71	74	70	74	66
4	70	68	73	68	71
5	67	68	65	69	66
6	67	64	68	66	70
7	76	79	73	79	73
8	77	76	80	75	77

Додаток Б.9

**Вплив строків сівби на польову схожість амаранту сорту Лера, %
2023 р.**

Варіант	Середнє	Повторення			
		I	II	III	IV
1	58	60	56	59	57
2	57	55	60	54	59
3	57	59	56	58	55
4	55	54	57	53	56
5	74	78	71	77	70
6	76	74	78	75	77
7	75	77	73	78	72
8	75	71	78	73	78

Додаток Б.10

**Вплив глибини сівби на польову схожість амаранту сорту
Харківський 1, %
2022 р.**

Варіант	Середнє	Повторення			
		I	II	III	IV
1	78	81	75	80	76
2	86	84	89	82	89
3	76	80	75	77	72
4	61	59	64	59	62
5	48	49	47	50	46

Додаток Б.11

Вплив глибини сівби на польову схожість амаранту сорту

Харківський 1, %

2023 р.

Варіант	Середнє	Повторення			
		I	II	III	IV
1	70	72	67	71	70
2	70	68	72	68	72
3	64	67	62	67	60
4	53	52	56	52	52
5	40	42	39	41	38

Додаток Б.12

Вплив глибини сівби на польову схожість амаранту сорту

Харківський 1, %

2024 р.

Варіант	Середнє	Повторення			
		I	II	III	IV
1	73	76	70	74	72
2	82	80	84	79	85
3	74	77	71	77	71
4	60	59	63	58	60
5	42	43	41	44	40

Додаток В.1

Вживаність рослин амаранту сорту Харківський 1 залежно від норм висіву, %

Норма висіву, млн/га схожих насінин	Роки				Приріст
	2020	2021	2022	середнє	
0,2	81	90	87	86	41
0,4	76	83	78	79	34
0,6	64	72	65	67	22
0,8	55	64	55	58	13
1,0	47	56	50	51	6
1,2	41	51	43	45	-

Додаток В.2

**Вживаність рослин амаранту сорту Харківський 1 залежно від норм висіву, %
2020 р.**

Норма висіву, млн/га схожих насінин	Повторення				Середнє
	I	II	III	IV	
0,2	81,3	81,4	80,8	80,5	81
0,4	75,6	76,2	76,3	75,9	76
0,6	64,4	63,8	64,2	63,6	64
0,8	55,7	54,9	55,1	54,3	55
1,0	46,8	47,1	46,8	47,3	47
1,2	40,6	41,3	41,4	40,7	41

Додаток В.3

**Вживаність рослин амаранту сорту Харківський 1 залежно від норм
висіву, %
2021 р.**

Норма висіву, млн/га схожих насінин	Повторення				Середнє
	I	II	III	IV	
0,2	90,2	90,5	89,9	89,4	90
0,4	82,4	83,5	83,1	83	83
0,6	72,1	72,2	71,8	71,9	72
0,8	64,5	63,6	64,1	63,8	64
1,0	55,6	56,1	55,7	56,6	56
1,2	50,7	50,9	51,2	51,2	51

Додаток В.4

**Вживаність рослин амаранту сорту Харківський 1 залежно від норм
висіву, %
2022 р.**

Норма висіву, млн/га схожих насінин	Повторення				Середнє
	I	II	III	IV	
0,2	87,3	86,7	87,1	86,9	87
0,4	77,8	78,3	77,9	78	78
0,6	65,3	64,8	65,4	64,5	65
0,8	55,4	55,2	54,7	54,7	55
1,0	49,7	50,3	50,1	49,9	50
1,2	42,9	43,1	43,2	42,8	43

Додаток В.5

**Вплив строків сівби на виживаність рослин амаранту сорту Лєра, %
2021 р.**

Варіант	Середнє	Повторення		
		I	II	III
1	76	74	76	78
2	78	79	76	79
3	84	85	84	83
4	83	84	82	83
5	90	92	90	88
6	89	90	89	88
7	90	91	89	90
8	88	89	88	87

Додаток В.6

**Вплив строків сівби на виживаність рослин амаранту сорту Лєра, %
2022 р.**

Варіант	Середнє	Повторення		
		I	II	III
1	77	76	78	77
2	79	79	78	80
3	85	86	85	84
4	84	84	83	85
5	91	91	90	92
6	90	90	91	89
7	93	92	94	93
8	90	90	89	91

Додаток В.7

**Вплив строків сівби на виживаність рослин амаранту сорту Лєра, %
2023 р.**

Варіант	Середнє	Повторення		
		I	II	III
1	73	74	75	70
2	75	76	74	75
3	81	82	80	81
4	81	80	80	83
5	87	86	89	86
6	86	86	87	85
7	86	87	86	85
8	87	88	89	84

Додаток Г.1

**Вплив способів сівби на масу 1000 насінин амаранту сорту Лєра,г
2021 р.**

Варіант	Середнє	Повторення		
		I	II	III
1	0,91	0,91	0,9	0,92
2	0,89	0,89	0,88	0,9
3	0,87	0,87	0,86	0,88
4	0,86	0,86	0,87	0,85

Додаток Г.2

**Вплив способів сівби на масу 1000 насінин амаранту сорту Лєра,г
2022 р.**

Варіант	Середнє	Повторення		
		I	II	III
1	0,92	0,92	0,93	0,91
2	0,9	0,9	0,91	0,89
3	0,88	0,88	0,89	0,87
4	0,88	0,88	0,89	0,87

Додаток Г.3

**Вплив способів сівби на масу 1000 насінин амаранту сорту Лєра,г
2023 р.**

Варіант	Середнє	Повторення		
		I	II	III
1	0,93	0,93	0,92	0,94
2	0,91	0,91	0,91	0,91
3	0,89	0,89	0,88	0,9
4	0,87	0,87	0,88	0,86

Додаток Д.

Врожайність амаранту сорту Ультра та окупність добрив залежно від рівня мінерального удобрення, середнє за 2019–2020 рр.

Рівень удобрення	Врожайність, ц/га			Приріст урожайності зерна, +		Окупність добрив зерном, кг/кг д. р.
	2019 р.	2020 р.	середнє	ц/га	%	
контроль	8,8	8,2	8,5	-	-	-
N ₄₀ P ₂₀ K ₄₀	14,4	13,9	14,2	5,7	67	5,70
N ₈₀ P ₄₀ K ₈₀	17,5	17,2	17,4	8,9	105	4,45
N ₁₂₀ P ₄₀ K ₈₀	20,5	19,4	20,0	11,5	135	4,79
N ₁₆₀ P ₈₀ K ₁₂₀	22,2	21,6	21,9	13,4	158	3,72
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₂₀	22,9	22,6	22,8	14,3	168	3,56

Додаток Ж.

Урожайність зерна амаранту залежно від сорту, т/га*

Фактор А (Рік)	Фактор Б (Сорт)	Середнє	Повторення		
			I	II	III
2019	Студентський	2,51	2,46	2,54	2,53
	Харківський 1	4,11	3,98	4,17	4,18
	Лера	3,32	3,4	3,25	3,31
	Ультра	2,08	2,15	2,02	2,07
	Ацтек	2,33	2,24	2,4	2,35
	Сем	2,93	3,05	2,86	2,88
	Поліщук	2,39	2,47	2,36	2,34
2020	Студентський	2,22	2,29	2,17	2,2
	Харківський 1	3,67	3,49	3,72	3,8
	Лера	3,08	2,96	3,14	3,14
	Ультра	1,37	1,32	1,4	1,39
	Ацтек	1,68	1,71	1,62	1,71
	Сем	2,31	2,36	2,28	2,29
	Поліщук	1,71	1,66	1,77	1,7
2021	Студентський	2,62	2,54	2,69	2,63
	Харківський 1	4,35	4,24	4,4	4,41
	Лера	3,44	3,5	3,34	3,48
	Ультра	2,46	2,56	2,38	2,44
	Ацтек	2,56	2,63	2,48	2,57
	Сем	2,98	3,06	2,86	3,02
	Поліщук	2,53	2,6	2,63	2,36

Додаток 3.1

Урожайність зерна амаранту сорту Харківський 1 залежно від норм добрив, т/га, 2019 р.

Норма добрив	Повторення				Середнє
	I	II	III	IV	
Контроль	2,44	2,37	2,43	2,36	2,40
N ₄₀ P ₂₀ K ₄₀	3,08	3,12	3,15	3,09	3,11
N ₈₀ P ₄₀ K ₈₀	3,64	3,58	3,58	3,44	3,56
N ₁₂₀ P ₄₀ K ₈₀	4,07	3,81	3,98	3,86	3,93
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	4,48	4,75	4,54	4,63	4,60
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₂₀	4,79	4,93	4,86	4,9	4,87
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₆₀	4,72	4,83	4,95	5,02	4,88

Додаток 3.2

Урожайність зерна амаранту сорту Харківський 1 залежно від норм добрив, т/га, 2020 р.

Норма добрив	Повторення				Середнє
	I	II	III	IV	
Контроль	1,95	2,05	2,03	2,01	2,01
N ₄₀ P ₂₀ K ₄₀	2,64	2,58	2,61	2,57	2,60
N ₈₀ P ₄₀ K ₈₀	3,24	3,29	3,15	3,16	3,21
N ₁₂₀ P ₄₀ K ₈₀	3,54	3,73	3,69	3,72	3,67
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	4,17	4,15	4,25	4,23	4,20
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₂₀	4,56	4,69	4,64	4,59	4,62
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₆₀	4,7	4,75	4,76	4,63	4,71

Додаток 3.3

Урожайність зерна амаранту сорту Харківський 1 залежно від норм добрив, т/га 2021 р.

Норма добрив	Повторення				Середнє
	I	II	III	IV	
Контроль	2,48	2,54	2,54	2,52	2,52
N ₄₀ P ₂₀ K ₄₀	3,27	3,21	3,25	3,19	3,23
N ₈₀ P ₄₀ K ₈₀	3,79	3,89	3,91	3,81	3,85
N ₁₂₀ P ₄₀ K ₈₀	4,21	4,29	4,31	4,19	4,25
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	4,65	4,72	4,64	4,79	4,70
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₂₀	4,95	5,1	5,09	4,98	5,03
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₆₀	4,98	5,12	5,08	5,02	5,05

Додаток К.1

**Урожайність амаранту залежно від сорту і норми висіву, т/га, середнє
за 2020 р.**

Норма висіву, млн/га схожих насінин	Сорт	Середнє	Повторення		
			I	II	III
0,2	Харківський 1	4,33	4,38	4,29	4,32
	Ацтек	2,7	2,55	2,75	2,8
	Лера	3,61	3,65	3,54	3,64
	Сем	3,21	3,12	3,2	3,31
	Студентський	2,95	2,9	3,01	2,94
	Ультра	2,46	2,4	2,34	2,64
0,4	Харківський 1	4,55	4,46	4,55	4,64
	Ацтек	2,72	2,67	2,71	2,78
	Лера	3,79	3,75	3,87	3,75
	Сем	3,41	3,52	3,04	3,67
	Студентський	3,02	3,09	2,98	2,99
	Ультра	2,49	2,57	2,44	2,46
0,6	Харківський 1	4,37	4,42	4,33	4,36
	Ацтек	2,89	2,73	2,93	3,01
	Лера	3,87	3,75	3,87	3,99
	Сем	3,53	3,45	3,63	3,51
	Студентський	3,09	3,16	3,05	3,06
	Ультра	2,56	2,47	2,53	2,68
0,8	Харківський 1	4,29	4,12	4,34	4,41
	Ацтек	2,81	2,69	2,95	2,79
	Лера	3,68	3,54	3,73	3,77
	Сем	3,49	3,36	3,57	3,54
	Студентський	2,98	2,83	3,03	3,08
	Ультра	2,73	2,8	2,62	2,77
1	Харківський 1	4,11	4,02	4,17	4,14
	Ацтек	2,83	2,71	2,88	2,9
	Лера	3,65	3,78	3,54	3,63
	Сем	3,38	3,38	3,46	3,3
	Студентський	2,89	2,93	2,74	3
	Ультра	2,67	2,73	2,53	2,75
1,2	Харківський 1	4,06	3,95	4,15	4,08
	Ацтек	2,66	2,54	2,74	2,7
	Лера	3,43	3,4	3,52	3,37
	Сем	3,18	3,05	3,26	3,23
	Студентський	2,81	2,75	2,88	2,8
	Ультра	2,63	2,68	2,58	2,63

Додаток К.2

Урожайність амаранту залежно від сорту і норми висіву, т/га, середнє за 2021 р.

Норма висіву, млн/га схожих насінин	Сорт	Середнє	Повторення		
			I	II	III
0,2	Харківський 1	4,56	4,65	4,43	4,6
	Ацтек	2,66	2,54	2,73	2,71
	Лера	3,85	3,74	3,93	3,88
	Сем	3,42	3,32	3,54	3,4
	Студентський	3,14	3,05	3,21	3,16
	Ультра	2,41	2,45	2,34	2,44
0,4	Харківський 1	4,71	4,65	4,82	4,66
	Ацтек	2,87	2,75	2,93	2,93
	Лера	4,12	4,08	4,22	4,06
	Сем	3,55	3,43	3,64	3,58
	Студентський	3,22	3,11	3,24	3,31
	Ультра	2,59	2,64	2,54	2,59
0,6	Харківський 1	4,74	4,81	4,7	4,71
	Ацтек	2,95	2,93	3,02	2,9
	Лера	3,98	3,89	3,95	4,1
	Сем	3,71	3,79	3,65	3,69
	Студентський	3,25	3,14	3,28	3,33
	Ультра	2,7	2,59	2,75	2,76
0,8	Харківський 1	4,42	4,35	4,49	4,42
	Ацтек	3,29	3,16	3,32	3,39
	Лера	3,98	4,08	3,95	3,91
	Сем	3,7	3,58	3,75	3,77
	Студентський	3,15	3,08	3,21	3,16
	Ультра	2,84	2,77	2,89	2,86
1	Харківський 1	4,41	4,35	4,48	4,4
	Ацтек	2,99	2,78	3,04	3,15
	Лера	3,74	3,67	3,78	3,77
	Сем	3,56	3,47	3,64	3,57
	Студентський	3,12	3,03	3,18	3,15
	Ультра	2,9	2,83	2,97	2,9
1,2	Харківський 1	4,22	4,15	4,27	4,24
	Ацтек	3	2,86	3,03	3,11
	Лера	3,73	3,67	3,75	3,77
	Сем	3,38	3,45	3,33	3,36
	Студентський	2,96	2,84	2,98	3,06
	Ультра	2,76	2,82	2,68	2,78

Додаток К.3

Урожайність амаранту залежно від сорту і норми висіву, т/га, 2022 р.

Норма висіву, млн/га схожих насінин	Сорт	Середнє	Повторення		
			I	II	III
0,2	Харківський 1	4,37	4,25	4,41	4,45
	Ацтек	2,62	2,55	2,66	2,65
	Лера	3,7	3,64	3,83	3,63
	Сем	3,3	3,08	3,39	3,43
	Студентський	3	3,11	3,04	2,85
	Ультра	2,51	2,45	2,56	2,52
0,4	Харківський 1	4,63	4,57	4,68	4,64
	Ацтек	2,75	2,71	2,78	2,76
	Лера	3,94	3,86	3,99	3,97
	Сем	3,48	3,41	3,53	3,5
	Студентський	3,12	3,02	3,18	3,16
	Ультра	2,54	2,61	2,45	2,56
0,6	Харківський 1	4,54	4,46	4,61	4,55
	Ацтек	2,92	2,88	2,96	2,92
	Лера	3,85	3,78	3,96	3,81
	Сем	3,59	3,48	3,67	3,62
	Студентський	3,2	3,07	3,31	3,22
	Ультра	2,63	2,57	2,68	2,64
0,8	Харківський 1	4,55	4,65	4,49	4,51
	Ацтек	2,9	2,87	2,81	3,02
	Лера	3,68	3,59	3,74	3,71
	Сем	3,61	3,56	3,67	3,6
	Студентський	3,11	3,04	3,17	3,12
	Ультра	2,62	2,58	2,69	2,59
1	Харківський 1	4,26	4,17	4,32	4,29
	Ацтек	2,91	2,84	2,96	2,93
	Лера	3,71	3,77	3,65	3,71
	Сем	3,47	3,35	3,51	3,55
	Студентський	3,02	3,12	2,94	3
	Ультра	2,77	2,67	2,82	2,82
1,2	Харківський 1	4,14	4,02	4,23	4,17
	Ацтек	2,83	2,75	2,88	2,86
	Лера	3,58	3,49	3,63	3,62
	Сем	3,28	3,16	2,33	4,35
	Студентський	2,93	2,88	3,01	2,9
	Ультра	2,71	2,68	2,75	2,7

Додаток Л.1

Урожайність зерна амаранту сорту Харківський 1 залежно від норм висіву, т/га, 2020 р.

Норма висіву, млн/га схожих насінин	Повторення				Середнє
	I	II	III	IV	
0,2	3,71	3,68	3,74	3,67	3,7
0,4	3,84	3,89	3,86	3,93	3,88
0,6	3,84	3,86	3,78	3,8	3,82
0,8	3,72	3,75	3,76	3,73	3,74
1	3,61	3,61	3,56	3,62	3,6
1,2	3,48	3,44	3,46	3,42	3,45

Додаток Л.2

Урожайність зерна амаранту сорту Харківський 1 залежно від норм висіву, т/га,, 2021 р.

Норма висіву, млн/га схожих насінин	Повторення				Середнє
	I	II	III	IV	
0,2	4,48	4,51	4,54	4,55	4,52
0,4	4,69	4,64	4,69	4,7	4,68
0,6	4,57	4,62	4,61	4,6	4,6
0,8	4,43	4,5	4,47	4,4	4,45
1	4,21	4,22	4,19	4,18	4,2
1,2	4,05	4,01	4,06	3,96	4,02

Додаток Л.3

Урожайність зерна амаранту сорту Харківський 1 залежно від норм висіву, т/га, 2022 р.

Норма висіву, млн/га схожих насінин	Повторення				Середнє
	I	II	III	IV	
0,2	4,01	4,07	4,05	4,07	4,05
0,4	4,29	4,26	4,27	4,3	4,28
0,6	4,21	4,18	4,22	4,19	4,2
0,8	4,13	4,08	4,1	4,13	4,11
1	3,86	3,91	3,92	3,91	3,9
1,2	3,78	3,81	3,82	3,79	3,8

Додаток М.1

Вплив способів сівби на урожайність зерна амаранту сорту Лєра, т/га 2021 р

Варіант	Середнє	Повторення		
		I	II	III
1	4,02	4,02	3,98	4,06
2	4,05	4,05	4,09	4,01
3	4	4	3,88	4,12
4	3,75	3,75	3,71	3,79

Додаток М.2

**Вплив способів сівби на урожайність зерна амаранту сорту Лера, т/га
2022 р**

Варіант	Середнє	Повторення		
		I	II	III
1	3,95	3,95	4,02	3,88
2	3,98	3,98	4,05	3,91
3	3,94	3,94	3,88	4
4	3,7	3,7	3,74	3,66

Додаток М.3

**Вплив способів сівби на урожайність зерна амаранту сорту Лера, т/га
2023 р**

Варіант	Середнє	Повторення		
		I	II	III
1	3,82	3,82	3,86	3,78
2	3,88	3,88	3,85	3,91
3	3,82	3,82	3,86	3,78
4	3,65	3,65	3,61	3,69

Додаток Н.1

**Врожайність амаранту сорту Харківський 1 залежно від гербіцидів, т/га,
2021 р.**

№ варіанту	Гербіцид	Повторення				Середнє
		I	II	III	IV	
1	Контроль	3,31	3,14	3,23	3,2	3,22
2	Бетанал Макс Про	1,89	1,79	1,86	1,82	1,84
3	Штефам	2,18	2,07	2,1	2,13	2,12
4	Гезагард	2,96	2,81	2,84	2,87	2,87
5	Команд	2,34	2,23	2,25	2,26	2,27
6	Карібу	2,79	2,66	2,69	2,7	2,71
7	Лонтрел Гранд	2,44	2,32	2,37	2,43	2,39

Додаток Н.2

**Врожайність амаранту сорту Харківський 1 залежно від гербіцидів, т/га,
2022 р.**

№ варіанту	Гербіцид	Повторення				Середнє
		I	II	III	IV	
1	Контроль	3,28	3,4	3,36	3,37	3,35
2	Бетанал Макс Про	1,98	1,9	1,95	1,87	1,92
3	Штефам	2,21	2,1	2,18	2,16	2,16
4	Гезагард	2,99	2,9	2,95	2,85	2,91
5	Команд	2,27	2,4	2,31	2,39	2,34
6	Карібу	2,85	2,7	2,77	2,83	2,79
7	Лонтрел Гранд	2,44	2,4	2,39	2,48	2,43

Додаток Н.3

**Врожайність амаранту сорту Харківський 1 залежно від гербіцидів, т/га,
2023 р.**

№ варіанту	Гербіцид	Повторення				Середнє
		I	II	III	IV	
1	Контроль	3,15	3,03	3,09	2,97	3,06
2	Бетанал Макс Про	1,81	1,78	1,73	1,72	1,76
3	Штефам	1,91	1,81	1,88	1,76	1,84
4	Гезагард	2,72	2,62	2,67	2,59	2,65
5	Команд	2,3	2,25	2,18	2,19	2,23
6	Карібу	2,59	2,47	2,56	2,54	2,54
7	Лонтрел Гранд	2,31	2,15	2,26	2,08	2,2

Додаток П.1

**Врожайність амаранту сорту Харківський 1 залежно від фунгіцидів, т/га,
2022 р.**

Інсектициди	Повторення			Середнє
	I	II	III	
Контроль	3,49	3,64	3,55	3,56
Абакус, 12,5 % с.е.	3,66	3,81	3,84	3,77
Аканто Плюс, 28 % к.с.	3,9	3,75	3,96	3,87
Амістар Екстра, 28 % к.с	3,85	3,93	3,95	3,91
Квадріс Топ, 32,5 % к.с.	3,89	3,75	3,85	3,83
Медісон, 26,3 % к.с.	3,74	3,93	3,73	3,8

Додаток П.2

**Врожайність амаранту сорту Харківський 1 залежно від фунгіцидів, т/га,
2023 р.**

Інсектициди	Повторення			Середнє
	I	II	III	
Контроль	3,41	3,58	3,45	3,48
Абакус, 12,5 % с.е.	3,79	3,65	3,69	3,71
Аканто Плюс, 28 % к.с.	3,85	3,74	3,78	3,79
Амістар Екстра, 28 % к.с	3,94	3,85	3,7	3,83
Квадріс Топ, 32,5 % к.с.	3,73	3,84	3,74	3,77
Медісон, 26,3 % к.с.	3,83	3,62	3,65	3,7

Додаток Р.1

Вміст білку в насінні амаранту залежно від сорту, %, 2019 р.

Сорти	Повторення			Середнє
	I	II	III	
Студентський	17,1	16,8	18	17,3
Харківський 1	19,1	19,6	19,2	19,3
Лера	18,9	18,4	19,1	18,8
Ультра (стандарт)	16,3	16,6	15,4	16,1
Ацтек	18,9	18,2	19,3	18,8
Сем	17,8	17,4	18,5	17,9

Додаток Р.2

Вміст білку в насінні амаранту залежно від сорту, %, 2020 р.

Сорти	Повторення			Середнє
	I	II	III	
Студентський	17,2	17,3	16,8	17,1
Харківський 1	18,7	19,1	18,9	18,9
Лєра	18,6	18,9	17,7	18,4
Ультра (стандарт)	16	16,2	15,8	16
Ацтек	18,7	18,5	19,2	18,8
Сем	17,3	17,8	17,1	17,4

Додаток Р.3

Вміст білку в насінні амаранту залежно від сорту, %, 2021 р.

Сорти	Повторення			Середнє
	I	II	III	
Студентський	17,9	17,1	18,4	17,8
Харківський 1	19,4	19,1	19,7	19,4
Лєра	18,8	17,9	19,7	18,8
Ультра (стандарт)	16,5	17	16	16,5
Ацтек	19,4	18,8	20	19,4
Сем	17,8	18,4	17,2	17,8

Додаток Р.4

Вміст олії в насінні амаранту залежно від сорту, %, 2019 р.

Сорти	Повторення			Середнє
	I	II	III	
Студентський	7,8	7,6	7,7	7,7
Харківський 1	7,8	7,9	7,7	7,8
Лєра	7,1	7,2	7	7,1
Ультра (стандарт)	4,9	4,8	5	4,9
Ацтек	8,2	8,3	8,1	8,2
Сем	6,4	6,5	6,3	6,4

Додаток Р.5

Вміст олії в насінні амаранту залежно від сорту, %, 2020 р.

Сорти	Повторення			Середнє
	I	II	III	
Студентський	7,4	7,6	7,2	7,4
Харківський 1	7,7	7,6	7,8	7,7
Лєра	7,1	7	7,2	7,1
Ультра (стандарт)	4,8	4,9	4,7	4,8
Ацтек	8	7,9	8,1	8
Сем	6,4	6,6	6,2	6,4

Додаток Р.6

Вміст олії в насінні амаранту залежно від сорту, %, 2021 р.

Сорти	Повторення			Середнє
	I	II	III	
Студентський	7,7	7,6	7,8	7,7
Харківський 1	7,9	7,7	8,1	7,9
Лєра	7,2	7,3	7,1	7,2
Ультра (стандарт)	5,3	5,4	5,2	5,3
Ацтек	8,4	8,6	8,2	8,4
Сем	6,7	6,8	6,6	6,7

Додаток С.1

**Врожайність фітомаси сортів амаранту залежно від рівнів удобрення, т/га
2021 р.**

Фон	Сорти	Повторення			Середнє
		I	II	III	
Контроль	Студентський	19	17	18	18
	Харківський 1	23	26	26	25
	Лєра	24	22	20	22
	Поліщук	18	20	16	18
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₂₀	Студентський	67	68	66	67
	Харківський 1	84	83	82	83
	Лєра	71	73	72	72
	Поліщук	49	47	48	48

Додаток С.2

**Врожайність фітомаси сортів амаранту залежно від рівнів удобрення, т/га
2022 р.**

Фон	Сорти	Повторення			Середнє
		I	II	III	
Контроль	Студентський	24	22	23	23
	Харківський 1	28	26	27	27
	Лера	21	23	25	23
	Поліщук	19	21	20	20
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₂₀	Студентський	73	71	72	72
	Харківський 1	90	87	90	89
	Лера	81	80	79	80
	Поліщук	51	53	52	52

Додаток С.3

**Врожайність фітомаси сортів амаранту залежно від рівнів удобрення, т/га
2023 р.**

Фон	Сорти	Повторення			Середнє
		I	II	III	
Контроль	Студентський	20	18	19	19
	Харківський 1	22	24	23	23
	Лера	22	20	21	21
	Поліщук	16	17	15	16
N ₂₀₀ P ₈₀ K ₁₂₀	Студентський	63	66	66	65
	Харківський 1	72	74	76	74
	Лера	68	71	71	70
	Поліщук	48	46	47	47

Додаток Т.

Орієнтовна технологічна схема вирощування амаранту і підрахунок витрат на 1 га за цінами 2025 року

Види робіт	Оплата праці за 1 га	С.-г. техніка	Вартість: пальне, насіння, добрива, пестициди та ін., грн	Амортизація та ін. витр., грн	Всього витрат, грн
Дискування стерні	40	Джон Дір + БДВП-4,2	Пальне: 10л х 60 = 600 грн	250	890
Внесення мінеральних добрив двічі: $P_{80}K_{160}$	40	МТЗ-82 + МВД 900	Амофос: 1,5 ц х 3500 = 5250 грн Хлористий калій: 2,7 ц х 2900 = 7830 грн Пальне: 5л х 2 х 60 = 600 грн	200	13920
Оранка	60	Джон Дір + ПН-4-35	Пальне: 20л х 60 = 1200 грн	200	1460
Культивація, закриття вологи	30	МТЗ-82 +КПС-4	Пальне: 8л х 60 = 480 грн	90	600
Внесення мінеральних добрив: N_{200}	30	МТЗ-82 +МВД 900	Аміачна селітра: 2 ц х 2400 = 4800 грн Карбамід: 2,9 ц х 3300 = 9570 грн Пальне: 5 л х 60 = 300 грн	150	14850
Культивація, загортання добрив	30	МТЗ-82 +КПС-4	Пальне: 8 л х 60 = 480 грн	90	600
Передпосівний обробіток	30	Джон Дір + Компактор	Пальне: 10 л х 60 = 600 грн	90	720
Сівба	50	МТЗ-82 + СН-16	Насіння: 1 кг х 500 = 500 грн Протруйник: Кінто Дуо 2,5 л х 700 = 1750 грн Пальне: 14 л х 60 = 840 грн	300	3440
Внесення гербіциду	30	МТЗ-82+ Харді	Гербіцид: Фюзилад Форте 1,5 л х 1000 = 1250 грн Пальне: 5 л х 60 = 300 грн	200	1780
Перше внесення інсектициду	20		Інсектицид: Енжіо 0,2 л х 1600 = 320 грн Пальне: 5 л х 60 = 300 грн	200	840
Внесення Фунгіциду	20	МТЗ-82+ Харді	Фунгіцид: Амістар Екстра 0,5 л х 1000 = 500 грн Пальне: 5 л х 60 = 300 грн	200	1020
Друге внесення інсектициду	20	МТЗ-82+ Харді	Інсектицид: Бі-58 новий 1 л х 420 = 420 грн Пальне: 5 л х 60 = 300 грн	200	940
Збирання амаранту	100	Сампо-500	Пальне: 25 л х 60 = 1500 грн	400	2000
Відвезення зерна	10	Газ-53	Пальне: 5 л х 60 = 300 грн	50	360
Сушіння зерна	10	Сушарка	Вартість енергії – 500 грн	200	710
Орендна плата за землю			8000 грн		8000
Всього	520		48790	2820	52130

ДОВІДКА

**Про впровадження результатів дисертаційного дослідження
здобувачки наукового рівня доктора с/г наук
ЛНУВМБ ім С.З.Гжицького
ТИРУСЬ Марії Львівни**

Здобувачка Львівського національного університету ветеринарної медицини і біотехнологій ім. С.З. Гжицького на основі результатів наукових досліджень за темою дисертації «АГРОБІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ АМАРАНТУ В УМОВАХ ЛІСОСТЕПУ ЗАХІДНОГО» на здобуття ступеня доктора сільськогосподарських наук зі спеціальності 06.01.09 – рослинництво галузі знань 20 «Аграрні науки та продовольство» розробила та надала свої пропозиції до програм навчальних дисциплін, які викладаються в університеті: «Системи удобрення польових культур», «Рослинництво», «Лікарські, технічні та енергетичні культури», «Технології вирощування енергетичних культур», «Вирощування біоенергетичних культур».

Довідка видана для пред'явлення у спеціалізовану вчену раду, в якій проводитиметься захист названої дисертації.

Проректор з наукової роботи
ЛНУВМБ ім С.З.Гжицького,
доцент

  **Олег ФЕДЕЦЬ**

Додаток Х.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Керівник ФГ «Бік Агро»

Коцюба Б.І.

2024 р.



АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

Результатів дисертаційної роботи Тирусь М.Л.

«АГРОБІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ АМАРАНТУ В УМОВАХ ЛІСОСТЕПУ ЗАХІДНОГО»

Цим актом підтверджуємо, що впродовж 2024 р. у господарстві ФГ «Бік Агро» Шептицького району Львівської області на площі 1,25 га впроваджувались рекомендації із дисертаційної роботи Тирусь М.Л. «Агробіологічні особливості формування продуктивності амаранту в умовах Лісостепу західного».

Умови проведення впровадження: Лісостеп Західний, ґрунти – темно-сірі опідзолені. Вміст гумусу – 2,6 %.

Суть впровадження: досліджували застосування засобів захисту: інсектициду Енжіо 24,7 % к. с. в нормі 0,2 л/га; фунгіциду Амістар Екстра, 28% к.с в нормі 0,5 л/га; моллюскоциду Slimax 04GB в нормі 4,0 кг/га.

Результати впровадження: рівень урожайності за використання даних засобів захисту був на 0,37 т/га вищим відносно варіанту без використання препаратів. Це забезпечило зростання економічної ефективності: умовно чистий прибуток був вищим на 9250 грн/га.

Від розробника
рекомендацій здобувачка
наукового рівня доктор с/г наук
ЛНУЦП

Тирусь М.Л.

Від господарства
ФГ «Бік Агро»

Коцюба Б.І.

Додаток Ц.

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
В.О ДИРЕКТОРА
Сарненської дослідної станції
Інституту водних проблем і меліорації
Національної академії аграрних наук України
М.Д.ЗОСИМЧУК

28 жовтня 2024 р.

АКТ

впровадження наукової розробки

1. **Назва установи** – Львівський національний університет природокористування.
2. **Назва розробки** – Встановлення оптимальних елементів технології вирощування амаранту в умовах Лісостепу західного України.
3. **Автор наукової розробки** – Тирус М.Л., к. с-г н., доцент, в.о. завідувача кафедри технологій у рослинництві ЛНУП.
4. **Місце впровадження наукової розробки** - Сарненська дослідна станція Інституту водних проблем і меліорації НААН України.
5. **Обсяг впровадження** – 3 га.
6. **Строк використання наукової розробки** – впродовж 2024 року.
7. **Складові та особливості розробки:** амаранту сорт Лера; строки сівби - 16 квітня, 30 квітня, 15 травня; рівень удобрення $N_{40}P_{20}K_{40}$.
8. **Отримані результати:** встановлено підвищення урожайності зерна амаранту сорту Лера за строку сівби 30 квітня на 0,33 т/га порівняно до строку сівби 15 травня, та на 0,75 т/га відносно строку сівби 16 квітня.
9. **Економічна ефективність:** умовно чистий прибуток становив за строку сівби 29 квітня – 21500 грн/га, сукупний дохід з площі 3 га – 64500 грн.

Представник
Львівського національного
університету
природокористування

 Тирус М.Л.

В о. директора
Сарненської дослідної станції
Інституту водних проблем і
меліорації НААН України

 Зосимчук М.Д.

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
В.О ДИРЕКТОРА
Сарненської дослідної станції
Інституту водних проблем і меліорації
Національної академії аграрних наук України
М.Д. ЗОСИМЧУК



28 жовтня 2024 р.

АКТ

впровадження наукової розробки

1. **Назва установи** – Львівський національний університет природокористування.
2. **Назва розробки** – Встановлення оптимальних елементів технології вирощування амаранту в умовах Лісостепу західного України.
3. **Автор наукової розробки** – Тирусь М.Л., к. с-г н., доцент, в.о. завідувача кафедри технологій у рослинництві ЛНУП.
4. **Місце впровадження наукової розробки** - Сарненська дослідна станція Інституту водних проблем і меліорації НААН України.
5. **Обсяг впровадження** – 2 га.
6. **Строк використання наукової розробки** – впродовж 2024 року.
7. **Складові та особливості розробки:** амаранту сорт Харківський 1; рівні мінерального удобрення $N_0P_0K_0$, $N_{160}P_{60}K_{120}$; $N_{200}P_{80}K_{160}$; ґрунт: дерново- підзолистий супіщаний.
8. **Отримані результати:** застосування рівня мінерального удобрення у нормі $N_{200}P_{80}K_{160}$ забезпечило приріст урожайності зерна амаранту сорту Харківський 1 на 2,68 т/га відносно варіанту без внесення мінеральних добрив; та на 0,63 т/га - відносно варіанту з внесенням міндобрив у нормі $N_{160}P_{60}K_{120}$.
9. **Економічна ефективність:** умовно чистий прибуток становив за рівня мінерального удобрення у нормі $N_{200}P_{80}K_{160}$ – 62 300 грн/га, умовний сукупний дохід з площі 3 га – 124 600 грн.

Представник
Львівського національного
університету
природокористування



Тирусь М.Л.

В. о директора
Сарненської дослідної станції
Інституту водних проблем і
меліорації НААН України



Зосимчук М.Д.