

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХЕРСОНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ГАМУЛА ЄВГЕН АНАТОЛІЙОВИЧ

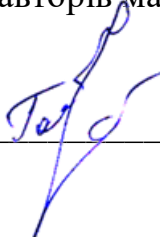
УДК: 633.15:631.5(477.7)

**ДИСЕРТАЦІЯ
УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ГІБРИДІВ
КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО МАРКИ ДЕКАЛЬ В УМОВАХ
ПІВНІЧНОГО СТЕПУ УКРАЇНИ**

Спеціальність 201 Агрономія
(Галузь знань 20 Аграрні науки та продовольство)

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

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


_____ Є. А. Гамула

Науковий керівник:

Іванів Микола Олександрович
кандидат сільськогосподарських
наук, доцент

Кропивницький – 2026

АНОТАЦІЯ

Гамула Є. А. Удосконалення технології вирощування гібридів кукурудзи на зерно марки ДЕКАЛЬ в умовах Північного Степу України. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 201 Агрономія. Херсонський державний аграрно-економічний університет. Кропивницький, 2026.

У сучасних умовах кліматичних змін та обмеженого доступу до мінеральних ресурсів особливого значення набуває оптимізація технології вирощування кукурудзи – високопродуктивної та універсальної зернової культури. Виробництво зерна кукурудзи в Україні та світі демонструє позитивну динаміку, зростання рівнів урожайності та розширення сфер використання культури. Актуальним є вивчення нових сортів і гібридів з високим потенціалом продуктивності, адаптивністю до різних ґрунтово-кліматичних умов, стійкістю до хвороб і шкідників та низькою збиральною вологістю зерна.

Оптимальна густота стояння рослин є важливим фактором технології вирощування кукурудзи, який визначає ефективність використання світла, води та елементів живлення, формування генеративних органів і накопичення сухих речовин у зерні. Перевищення оптимальної щільності посівів призводить до загострення конкуренції між рослинами та зниження продуктивності.

Позакореневі підживлення мікродобривами активізують фізіолого-біохімічні процеси, покращують фотосинтез, мінеральне живлення, стійкість рослин до стресів та якість зерна, що особливо актуально в умовах дефіциту доступних елементів у ґрунті, обмеженого внесення макродобрив та екологічних вимог щодо скорочення використання засобів хімізації.

Комплексний підхід, що включає добір гібридів із урахуванням біологічних особливостей, оптимізацію густоти стояння рослин та проведення позакореневих підживлень мікродобривами, дозволяє максимальною мірою

реалізувати генетичний потенціал кукурудзи, підвищити врожайність, покращити якість зерна, забезпечити високу ефективність та адаптивність сучасних агротехнологій.

Клімат Північного Степу України в цілому задовольняє біологічні потреби кукурудзи, проте висока мінливість погодних умов і зростаючий дефіцит вологи суттєво впливають на формування врожайності та якості зерна. Виявлені коливання агрокліматичних факторів за роками досліджень позначились на рівні продуктивності вирощуваних у досліді гібридів кукурудзи різних груп ФАО.

Найвищі у досліді показники розвитку асиміляційної поверхні, фотосинтетичного потенціалу та продукційних процесів забезпечували гібриди ДКС 4712, ДКС 4598 і ДКС 4391, які поєднували високий морфобіологічний потенціал із позитивною реакцією на оптимізацію густоти стояння рослин. Збільшення щільності посівів до 80 тис./га сприяло зростанню площі листкової поверхні та фотосинтетичного потенціалу, а загушення понад оптимум призводило до зниження зазначених показників через посилену внутрішньовидову конкуренцію. Позакореневі підживлення, особливо мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза, істотно підвищували асиміляційний потенціал посівів та інтенсивність фотосинтетичних процесів. Максимальні значення площі листкової поверхні, фотосинтетичного потенціалу і накопичення сухої біомаси визначено за вирощування гібриду ДКС 4712 з густотою стояння рослин 80 тис./га та дворазовим підживленням посівів мікродобривами. Чиста продуктивність фотосинтезу була найвищою за вирощування гібридів ДКС 4391 та ДКС 4712 з густотою посівів 60–65 тис./га та використанням в агротехнології мікродобрива Аміно Ультра Кукурудза. Між показниками фотосинтетичної діяльності рослин та врожайністю зерна встановлено сильні кореляційні зв'язки, що доводить їх високу інформативність і значення у формуванні продуктивності кукурудзи.

Сумарне водоспоживання кукурудзи істотно варіювало залежно від гідротермічних умов років досліджень, що зумовило майже трикратну різницю

між вологим та посушливим періодами. За дефіциту опадів частка ґрунтової вологи у загальному балансі водоспоживання істотно зростала і мала вирішальне значення у підтриманні водного режиму рослин. Найменші витрати води на формування одиниці врожаю визначені за густоти стояння рослин 55–75 тис./га у гібридів ДКС 4391, ДКС 4712 і ДКС 5206. Надмірне загущення посівів значно підвищувало коефіцієнт водоспоживання. Позакореневі підживлення мікродобривами, особливо Аміно Ультра Кукурудза, сприяли зменшенню даного показника на 11–17%. Оптимальні умови водовикористання встановлено за густоти стояння рослин 60–70 тис./га та проведення позакореневих підживлень посівів мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза – коефіцієнт водоспоживання варіював у межах 283–288 м³/т. Між сумарним водоспоживанням, коефіцієнтом водоспоживання та врожайністю зерна встановлено дуже тісний кореляційний зв'язок, що засвідчує важливе значення рівня вологозабезпеченості у формуванні продуктивності гібридів кукурудзи марки ДЕКАЛБ.

Збиральна вологість зерна кукурудзи визначалася поєднанням біологічних особливостей гібридів, густоти стояння рослин та проведенням позакореневих підживлень посівів мікродобривами. Гібриди з вищим ФАО та позакореневі підживлення мікродобривами забезпечували зростання збиральної вологості зерна. Надмірне загущення посівів, навпаки, знижувало даний показник внаслідок посилення внутрішньовидової конкуренції та прискорення втрати вологи зерном.

Вихід зерна з качанів зменшувався зі збільшенням густоти стояння рослин, але зростав за умови проведення позакореневих підживлень посівів мікродобривами. Найвищі значення виходу зерна з качанів визначено за вирощування гібридів ДКС 4109 та ДКС 4712 за мінімальної густоти стояння рослин (55 тис./га) та дворазового внесення мікродобрива Аміно Ультра Кукурудза.

Маса 1000 зерен закономірно зростала у гібридів з більш тривалим періодом вегетації, проте знижувалась зі збільшенням густоти стояння рослин.

Позакореневі підживлення посівів мікродобривами забезпечили зростання даного показника з найвищими значеннями за вирощування гібридів ДКС 5075 та ДКС 5206.

Врожайність зерна в ґрунтово-кліматичних умовах Північного Степу України формувалась за впливу поєднання генетичних особливостей гібридів, густоти стояння рослин та мікродобрив. Найвищі рівні врожайності зерна забезпечили гібриди ДКС 4712, ДКС 5206, ДКС 4109 та ДКС 4391 за густоти 60–70 тис./га та дворазового підживлення посівів мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза – 9,18–9,24 т/га.

Вміст сирого протеїну у зерні кукурудзи із загущенням посівів до 80 тис./га та внесенням мікродобрив зростав, причому найбільш суттєво за вирощування гібриду ДКС 4391, який стабільно формував найвищий рівень білковості навіть за стресових умов вегетації.

Найвищий умовний вихід білка з гектару посівів (0,65 т/га) забезпечила густота рослин 70–80 тис./га, що дозволяє розглядати даний інтервал як оптимальний для забезпечення високої білкової продуктивності кукурудзи. Серед гібридів найбільший умовний вихід сирого протеїну забезпечив гібрид ДКС 4391 (ФАО 350) – 0,66 т/га. Найбільш суттєвий вплив на даний показник серед досліджуваних факторів мали позакореневі підживлення мікродобривами, які збільшили умовний вихід сирого протеїну з 0,56 т/га у контролі до 0,67 т/га за використання мікродобрива Аміно Ультра Кукурудза.

Вміст жиру в зерні коливався в межах 3,80–4,00% з найвищими значеннями у гібридів ДКС 4712, ДКС 5206 і ДКС 4391. Виражена зворотна залежність між вмістом білка і жиру обумовила підвищення олійності в умовах водного стресу. Загущення посівів до 80 тис./га зменшувало олійність, а подальше ущільнення посівів сприяло її зростанню. Мікродобрива дещо знижували вміст жиру, але за рахунок збільшення врожайності забезпечили вищий умовний вихід олії з гектару посівів. Максимальні його значення (0,36–0,37 т/га) визначено у гібридів ДКС 4712, ДКС 5206 і ДКС 4391 за густоти рослин 55–70 тис./га та підживлень мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза.

Виробничі витрати на вирощування кукурудзи у досліді становили 42,7–47,2 тис. грн/га, при цьому понад 65% припадало на мінеральні добрива та паливно-мастильні матеріали. Собівартість зерна без використання мікродобрив коливалась у межах 5,44–6,47 тис. грн/т і зростала із загущенням посівів. Позакореневі підживлення мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза знизили її до 4,91–5,80 тис. грн/т. Мінімальну собівартість у досліді забезпечили гібриди ДКС 4391, ДКС 4712 і ДКС 5206 за густоти 55–75 тис./га.

Загущення посівів понад 75 тис./га суттєво знижувало показники умовного чистого прибутку та рівня рентабельності, а позакореневі підживлення мікродобривами, навпаки, збільшували їх. Максимальними зазначені показники забезпечили гібриди кукурудзи ДКС 4391 (65–70 тис./га), ДКС 4712 (60–65 тис./га) та ДКС 5206 (55–65 тис./га) за умови проведення двох позакореневих підживлень посівів мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза.

У контрольних варіантах досліду надходження енергії з урожаєм зерна становило 67,6–81,5 ГДж/га за коефіцієнта енергетичної ефективності 1,50–1,65. Позакореневі підживлення, особливо мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза, сприяли зростанню надходження енергії на 8,7–21,3 ГДж/га та приріст валової енергії до 41,9–42,2 ГДж/га за мінімального збільшення енерговитрат. Максимальні значення надходження та приросту енергії, енергетичного коефіцієнту (1,79–1,81) і мінімальної енергоємності забезпечили гібриди ДКС 4391, ДКС 4712 та ДКС 5206 за густоти рослин 55–70 тис./га та підживлень посівів мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза.

Ключові слова: генотип, густина рослин, добір, економічна та енергетична ефективність, зерно, зміни клімату, коефіцієнт водоспоживання, кореляція ознак, кукурудза, гібрид, маса 1000 зерен, мікродобриво, площа листової поверхні, позакореневе підживлення, посухостійкість, продуктивність, структура врожаю, сумарне водоспоживання, урожайність, фотосинтетичний потенціал, чиста продуктивність фотосинтезу, якість зерна.

ANNOTATION

Hamula Ye. A. Improving the technology for grain production of DEKALB maize hybrids in the Northern Steppe of Ukraine. – The qualification scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for the degree of a Doctor of Philosophy in the specialty 201 Agronomy. Kherson State Agrarian and Economic University. Kropyvnytskyi, 2026.

In the context of modern climate change and limited access to mineral resources, optimizing maize cultivation technology – a high-yielding and versatile cereal crop – becomes particularly important. The production of maize grain in Ukraine and globally shows positive dynamics, with increasing yield levels and expanding areas of application for the crop. It is crucial to study new varieties and hybrids with high productivity potential, adaptability to different soil and climatic conditions, resistance to diseases and pests, and low grain moisture content at harvest.

The optimal plant density is an important factor in maize cultivation technology, determining the efficiency of light, water, and nutrient use, the formation of generative organs, and the accumulation of dry matter in the grain. Exceeding the optimal planting density leads to intensified competition among plants and a decrease in productivity.

Foliar feeding with micronutrients activates physiological and biochemical processes, improves photosynthesis, mineral nutrition, plant stress resistance, and grain quality, which is especially relevant in conditions of nutrient deficiency in the soil, limited application of macronutrients, and ecological requirements for reducing the use of chemical inputs.

A comprehensive approach that includes selecting hybrids based on biological characteristics, optimizing plant density, and conducting foliar feeding with micronutrients allows for maximizing the genetic potential of maize, increasing yields, improving grain quality, and ensuring high efficiency and adaptability of modern agricultural technologies.

The climate of the Northern Steppe of Ukraine generally meets the biological needs of maize; however, the high variability of weather conditions and the increasing moisture deficit significantly affect the formation of yield and grain quality. The fluctuations in agroclimatic factors over the years of research have impacted the productivity levels of the maize hybrids of different FAO groups grown in the experiment.

The highest indicators of assimilatory surface development, photosynthetic potential, and production processes in the experiment were provided by the hybrids DKC 4712, DKC 4598, and DKC 4391, which combined high morphobiological potential with a positive response to optimizing plant density. Increasing the planting density to 80,000 plants per hectare contributed to an increase in leaf area and photosynthetic potential, while overcrowding beyond the optimum led to a decrease in these indicators due to intensified intra-species competition. Foliar fertilization, especially with the micronutrient Amino Ultra Maize, significantly enhanced the assimilatory potential of the crops and the intensity of photosynthetic processes. The maximum values of leaf area, photosynthetic potential, and dry biomass accumulation were recorded for the hybrid DKC 4712 at a plant density of 80,000 plants per hectare with two applications of micronutrients.

The net productivity of photosynthesis was highest for the hybrids DKC 4391 and DKC 4712 at planting densities of 60,000–65,000 plants per hectare using the micronutrient Amino Ultra Maize in the agro-technology. Strong correlation relationships were established between the indicators of photosynthetic activity and grain yield, demonstrating their high informational value and significance in forming maize productivity.

Total water consumption by maize varied significantly depending on the hydrothermal conditions of the years studied, resulting in nearly a threefold difference between wet and dry periods. During periods of rainfall deficit, the share of soil moisture in the total water consumption balance increased significantly and played a crucial role in maintaining the water regime of the plants. The lowest water consumption for producing a unit of yield was recorded at plant densities of 55,000–

75,000 plants per hectare for hybrids DKC 4391, DKC 4712, and DKC 5206. Excessive crowding of crops significantly increased the water consumption coefficient. Foliar fertilization with micronutrients, especially Amino Ultra Maize, contributed to a reduction in this indicator by 11–17%. Optimal water use conditions were established at plant densities of 60,000–70,000 plants per hectare with foliar applications of the micronutrient Amino Ultra Maize – the water consumption coefficient varied between 283–288 m³/t. A very close correlation was found between total water consumption, water consumption coefficient, and grain yield, indicating the significant importance of moisture availability levels in forming the productivity of DEKALB maize hybrids.

The harvesting moisture of maize grain was determined by a combination of the biological characteristics of the hybrids, plant density, and the application of foliar fertilization with micronutrients. Hybrids with higher FAO and foliar fertilization with micronutrients resulted in increased harvesting moisture of the grain. Conversely, excessive crowding of the crops reduced this indicator due to intensified intra-species competition and accelerated moisture loss from the grain.

The grain yield from the ears decreased with increasing plant density but increased with the application of foliar fertilization with micronutrients. The highest values of grain yield from the ears were recorded for the hybrids DKC 4109 and DKC 4712 at the minimum plant density (55,000 plants/ha) and with two applications of the micronutrient Amino Ultra Maize.

The weight of 1,000 grains logically increased in hybrids with a longer growing period; however, it decreased with increasing plant density. Foliar fertilization with micronutrients led to an increase in this indicator, with the highest values observed for the hybrids DKC 5075 and DKC 5206.

The grain yield under the soil-climatic conditions of the Northern Steppe of Ukraine was influenced by a combination of genetic characteristics of the hybrids, plant density, and micronutrients. The highest levels of grain yield were achieved by the hybrids DKC 4712, DKC 5206, DKC 4109, and DKC 4391 at densities of 60,000–70,000 plants/ha and with two applications of the micronutrient Amino Ultra

Maize – 9.18–9.24 t/ha.

The crude protein content in maize grain increased with plant density up to 80,000 plants/ha and the application of micronutrients, particularly significantly for the hybrid DKC 4391, which consistently formed the highest protein level even under stressful growing conditions.

The highest conditional protein yield per hectare (0.65 t/ha) was provided by a plant density of 70,000–80,000 plants/ha, which allows this range to be considered optimal for ensuring high protein productivity in maize. Among the hybrids, the highest conditional crude protein yield was provided by the hybrid DKC 4391 (FAO 350) – 0.66 t/ha. The most significant influence on this indicator among the studied factors came from foliar fertilization with micronutrients, which increased the conditional crude protein yield from 0.56 t/ha in the control to 0.67 t/ha with the use of the micronutrient Amino Ultra Maize.

The fat content in the grain ranged from 3.80% to 4.00%, with the highest values found in the hybrids DKC 4712, DKC 5206, and DKC 4391. A pronounced inverse relationship between protein and fat content led to an increase in oiliness under water stress conditions. Crowding of crops to 80,000 plants/ha reduced oiliness, while further densification promoted its increase. Micronutrients slightly reduced fat content; however, due to increased yield, they ensured a higher conditional oil yield per hectare. The maximum values (0.36–0.37 t/ha) were recorded in the hybrids DKC 4712, DKC 5206, and DKC 4391 at plant densities of 55,000–70,000 plants/ha and fertilization with the micronutrient Amino Ultra Maize.

Production costs for growing maize in the experiment ranged from 42.7 to 47.2 thousand UAH/ha, with over 65% attributed to mineral fertilizers and fuel and lubricants. The cost of grain without the use of microfertilizers varied between 5.44 and 6.47 thousand UAH/t and increased with the densification of the crops. Foliar fertilization with Amino Ultra Maize reduced this cost to 4.91–5.80 thousand UAH/t. The minimum cost in the experiment was provided by the hybrids DKC 4391, DKC 4712, and DKC 5206 at densities of 55–75 thousand plants/ha.

Densification of crops beyond 75 thousand plants/ha significantly reduced the

indicators of conditional net profit and profitability, while foliar fertilization with microfertilizers, on the contrary, increased them. The maximum values for these indicators were achieved by the maize hybrids DKC 4391 (65–70 thousand plants/ha), DKC 4712 (60–65 thousand plants/ha), and DKC 5206 (55–65 thousand plants/ha) under the condition of two foliar fertilizations with the microfertilizer Amino Ultra Maize.

In the control variants of the experiment, energy input from grain yield amounted to 67.6–81.5 GJ/ha with an energy efficiency coefficient of 1.50–1.65. Foliar fertilizations, especially with the microfertilizer Amino Ultra Maize, contributed to an increase in energy input by 8.7–21.3 GJ/ha and a gross energy increase to 41.9–42.2 GJ/ha with minimal increases in energy expenditures. The maximum values of energy input and increase, energy efficiency coefficient (1.79–1.81), and minimum energy intensity were provided by the hybrids DKC 4391, DKC 4712, and DKC 5206 at plant densities of 55–70 thousand plants/ha and foliar fertilizations with the microfertilizer Amino Ultra Maize.

Key words: genotype, plant density, selection, economic and energy efficiency, grain, climate change, water consumption coefficient, correlation of traits, maize, hybrid, 1000-grain weight, microfertilizer, leaf area, foliar feeding, drought resistance, productivity, yield structure, total water consumption, yield, photosynthetic potential, net photosynthetic productivity, grain quality

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз даних

1. Ivaniv M., Sydiakina O., **Hamula Ye.** Formation of maize grain oil content depending on technological elements and variable agro-climatic conditions. Journal of Ecological Engineering. 2026. Vol. 27 (1). P. 129–137. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/209687> [184].

Статті у наукових фахових виданнях України

2. Sydiakina O. V., **Hamula Ye. A.** Current range of corn hybrids in Ukraine: analysis and prospects. *Таврійський науковий вісник. Серія Сільськогосподарські науки*. 2024. № 137. С. 205–213. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.137.26> (Здобувачем опрацьовано літературу, інформаційні джерела та написано статтю, частка участі 95%) [265].

3. Сидякіна О. В., **Гамула Є. А.** Сучасний стан, проблеми та перспективи виробництва зерна кукурудзи. *Таврійський науковий вісник. Серія Сільськогосподарські науки*. 2025. № 144. С. 164–174. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.144.22> (Здобувачем опрацьовано літературу, інформаційні джерела та написано статтю, частка участі 95%) [109].

4. Іванів М. О., Сидякіна О. В., **Гамула Є. А.** Вплив густоти рослин та позакоренових підживлень мікродобривами на врожайність гібридів кукурудзи марки ДЕКАЛБ в умовах Північного Степу України. *Аграрні інновації*. 2025. № 31. С. 59–66. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2025.31.10> (Здобувачем проведено польові дослідження, узагальнено результати досліджень, сформульовано висновки і рекомендації, підготовлено матеріали до друку, частка участі 85%) [48].

5. Іванів М. О., Сидякіна О. В., **Гамула Є. А.** Вплив густоти стояння рослин та мікродобрив на водоспоживання гібридів кукурудзи в умовах Північного Степу України. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2025. Вип. 3 (48). С. 37–42. DOI: <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2025-3.4> (Здобувачем проведено польові дослідження, узагальнено результати досліджень, сформульовано висновки і рекомендації, підготовлено матеріали до друку, частка участі 85%) [49].

6. Іванів М. О., Сидякіна О. В., **Гамула Є. А.** Вплив умов зволоження, біологічних особливостей гібридів і густоти стояння рослин на вміст сирого протеїну в зерні кукурудзи. *Український журнал природничих наук*. 2025. № 13.

С. 273–281. DOI: <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.25> (Здобувачем проведено польові дослідни, узагальнено результати досліджень, сформульовано висновки і рекомендації, підготовлено матеріали до друку, частка участі 85%) [52].

7. Іванів М. О., Сидякіна О. В., Гамула Є. А. Формування якості зерна гібридів кукурудзи марки DEKALB залежно від густоти стояння рослин та позакоренових підживлень мікродобривами. *Аграрні інновації*. 2025. № 32. С. 89–94. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2025.32.14> (Здобувачем проведено польові дослідни, узагальнено результати досліджень, сформульовано висновки і рекомендації, підготовлено матеріали до друку, частка участі 85%) [54].

8. Іванів М. О., Сидякіна О. В., Гамула Є. А. Формування площі листової поверхні посівів кукурудзи залежно від агробіологічних факторів в умовах Північного Степу України. *Таврійський науковий вісник. Серія Сільськогосподарські науки*. 2025. № 145. Т. 1. С. 134–144. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.145.1.16> (Здобувачем проведено польові дослідни, узагальнено результати досліджень, сформульовано висновки і рекомендації, підготовлено матеріали до друку, частка участі 85%) [53].

Матеріали Міжнародних науково-практичних конференцій

9. Сидякіна О. В., Гамула Є. А. Обґрунтований добір гібридів – запорука отримання високих і сталих урожаїв кукурудзи. *Наукові основи реалізації принципів кліматично орієнтованого сільського господарства в агросфері України* : збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених з нагоди Дня науки в Україні, 17 травня 2024 р. Одеса : Олді+, 2024. С. 95–96. URL: <http://dspace.ksaeu.kherson.ua/handle/123456789/9613> [108].

10. Сидякіна О. В., Гамула Є. А. Інтегрована система захисту кукурудзи від стеблового метелика в умовах Північного Степу України. *Ефективні системи захисту рослин як інструмент сталого розвитку аграрного сектору*

економіки та суспільства : матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої Дню науки в Україні, 16 травня 2025 р. Херсон-Кропивницький: ХДАЕУ, 2025. С. 52–56. URL: <http://dspace.ksaeu.kherson.ua/handle/123456789/10850> [110].

11. Сидякіна О. В., Гамула Є. А. Мікродобрива у технологіях вирощування кукурудзи як елемент екологоорієнтованого та ресурсозберігаючого землеробства. *Продовольча безпека України в умовах післявоєнного відновлення: глобальні та національні виміри. Міжнародний форум* : доповіді учасників міжнародної науково-практичної конференції, 28–30 травня 2025 р. Миколаїв : МНАУ, 2025. С. 166–169. DOI: <https://doi.org/10.31521/978-617-7149-86-5-54>. URL: <http://dspace.ksaeu.kherson.ua/handle/123456789/10818?show=full> [107].

12. Ivaniv M., Sydiakina O., **Hamula Ye.** Net photosynthetic productivity of maize hybrids depending on plant density and micronutrients. *Innovative Research in Science and Economy* : Collection of Scientific Papers with Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference. International Scientific Unity. July 30 – August 1, 2025. Brussels, Belgium, 2025. P. 25–29. DOI: <https://doi.org/10.70286/ISU-30.07.2025>. URL: <http://dspace.ksaeu.kherson.ua/handle/123456789/11182> [183].

13. Іванів М. О., Сидякіна О. В., Гамула Є. А. Вплив густоти стояння рослин та позакореневих підживлень мікродобривами на вихід зерна з качанів гібридів кукурудзи різних груп ФАО. *Ротмістровські читання частина 2: технології вирощування сільськогосподарських культур та трансформація властивостей ґрунту в умовах змін клімату* : збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої до 130-річчя заснування Одеської державної сільськогосподарської дослідної станції, смт Хлібодарське, 25 вересня 2025 року. Одеса : Одеська ДСДС ІКОСГ НААН, 2025. С. 131–134. DOI: <https://www.doi.org/10.32782/25092025>. URL: <http://dspace.ksaeu.kherson.ua/handle/123456789/11417> [50].

14. Іванів М. О., Сидякіна О. В., Гамула Є. А. Вплив густоти стояння рослин та позакоренових підживлень мікродобривами на збиральну вологість зерна гібридів кукурудзи різних груп ФАО. *Адаптація агровиробництва до змін клімату та ґрунтової родючості* : збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції, 9 жовтня 2025 р., с-ще Полігон, Миколаївського району, Миколаївської області, Україна. Миколаївська державна сільськогосподарська дослідна станція Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН України, 2025. С. 120–123. DOI: <https://www.doi.org/10.32782/10-15-10-2025>. URL: <https://dspace.ksaeu.kherson.ua/handle/123456789/11395> [51].

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	18
РОЗДІЛ 1 ВИРОБНИЦТВО КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО: ГЛОБАЛЬ- НІ ТЕНДЕНЦІЇ ТА УКРАЇНСЬКИЙ ДОСВІД, НАУКОВІ ТА ПРАКТИЧНІ ПІДХОДИ.....	28
1.1. Сучасний стан, проблеми та перспективи виробництва зерна кукурудзи.....	28
1.2. Сучасний асортимент гібридів кукурудзи в Україні: аналіз та перспективи.....	39
1.3. Вплив густоти стояння рослин на зернову продуктивність кукурудзи.....	48
1.4. Агробіологічне обґрунтування впливу мікродобрив на формування зернової продуктивності кукурудзи.....	52
Висновки до розділу 1.....	60
Публікації за розділом 1.....	62
РОЗДІЛ 2 МІСЦЕ, УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОС- ЛІДЖЕННЯ.....	64
2.1. Природно-географічне положення господарства та ґрунтово- екологічні умови проведення досліджень.....	64
2.2. Кліматична характеристика та метеорологічні умови років досліджень.....	71
2.3. Схема досліду та методика досліджень.....	86
2.4. Агротехніка у польовому досліді.....	98
Висновки до розділу 2.....	99
РОЗДІЛ 3 ФОТОСИНТЕТИЧНА ДІЯЛЬНІСТЬ ПОСІВІВ КУКУ- РУДЗИ ЗАЛЕЖНО ВІД ДОСЛІДЖУВАНИХ ФАКТОРІВ	101
3.1. Вплив густоти стояння рослин та позакореневих підживлень мікродобривами на площу листової поверхні гібридів кукурудзи різних груп ФАО.....	103
3.2. Фотосинтетичний потенціал посівів кукурудзи за впливу	

досліджуваних факторів.....	113
3.3. Вплив досліджуваних факторів на чисту продуктивність фотосинтезу.....	119
Висновки до розділу 3.....	129
Публікації за розділом 3.....	131
РОЗДІЛ 4 ВПЛИВ ДОСЛІДЖУВАНИХ ФАКТОРІВ НА ВОДОСПОЖИВАННЯ КУКУРУДЗИ.....	132
Висновки до розділу 4.....	142
Публікації за розділом 4.....	143
РОЗДІЛ 5 ПРОДУКТИВНІСТЬ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО ЗАЛЕЖНО ВІД ДОСЛІДЖУВАНИХ ФАКТОРІВ.....	144
5.1. Вплив досліджуваних факторів на елементи структури врожаю.....	144
5.2. Вплив густоти рослин та позакоренових підживлень мікродобривами на врожайність зерна гібридів кукурудзи.....	155
5.3. Формування показників якості зерна кукурудзи за впливу досліджуваних факторів.....	165
Висновки до розділу 5.....	184
Публікації за розділом 5.....	186
РОЗДІЛ 6 ЕКОНОМІЧНА ТА ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ	188
6.1. Економічна ефективність вирощування кукурудзи.....	189
6.2. Енергетична ефективність вирощування кукурудзи.....	201
Висновки до розділу 6.....	210
ВИСНОВКИ.....	213
РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ.....	216
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	217
ДОДАТКИ.....	257

ВСТУП

Виробництво та переробка кукурудзи є стратегічно важливою складовою аграрного сектору, оскільки ця культура має багатофункціональне призначення: вона є цінним джерелом енергії в раціоні тварин, основою для виробництва круп, крохмалю, глюкозно-фруктозного сиропу, біоетанолу, а також використовується в харчовій, фармацевтичній, хімічній та біотехнологічній галузях промисловості. Сучасний світовий ринок кукурудзи розвивається надзвичайно динамічно, оскільки попит на цю культуру щороку зростає як на продовольчі, так і на технічні потреби [167, 187].

В Україні кукурудза є однією з найважливіших зернових культур, яка щороку займає значні посівні площі. За обсягами валового збору вона стабільно входить до трійки лідерів серед польових культур, поступаючись лише пшениці та соняшнику. Її вирощування має чітко виражену експортну орієнтацію, адже Україна входить до п'ятірки провідних експортерів кукурудзи у світі. Зерно українського виробництва постачається на ринки ЄС, Китаю, країн Північної Африки, Близького Сходу та Південно-Східної Азії [109, 113, 162].

Кукурудза є провідною культурою для формування аграрного експорту та валютних надходжень. Завдяки відносно низькій собівартості виробництва, високому потенціалу врожайності та широкій адаптивності до різних ґрунтово-кліматичних умов, вона має високу економічну привабливість для українських аграріїв. Упродовж останніх десятиліть спостерігається стабільне зростання площ під кукурудзою, активне впровадження інтенсивних технологій її вирощування, а також поширення високопродуктивних гібридів світових селекційних компаній [153, 259, 285].

Перспективним напрямом розвитку виробництва кукурудзи є її біоенергетичне використання. Завдяки високій вихідній біомасі, високому вмісту крохмалю та легкості ферментації, кукурудза розглядається як одна з найефективніших культур для виробництва біоетанолу та біогазу. Це відповідає світовим напрямам декарбонізації економіки та розвитку відновлюваних

джерел енергії [145, 237].

У контексті глобальних кліматичних змін та ресурсних обмежень постає необхідність удосконалення технологій вирощування кукурудзи, зокрема в напрямі адаптації гібридів до стресових умов, оптимізації густоти стояння рослин та забезпечення збалансованого живлення. Такі заходи дозволять підвищити ефективність виробництва, покращити якість зерна, зменшити вплив погодних ризиків та забезпечити сталий розвиток галузі [48].

Дослідження агробіологічних особливостей сучасних гібридів кукурудзи, оцінка їх якості та адаптивності до конкретних ґрунтово-кліматичних умов, а також впровадження інноваційних агротехнологій є надзвичайно актуальним напрямом сучасної аграрної науки й практики, який дозволяє максимально розкрити потенціал культури і сприяє посиленню економічної безпеки держави через стабільний експортний дохід, зростання конкурентоздатності продукції та розвиток переробної промисловості.

Актуальність теми дослідження. У сучасних умовах кліматичних змін, нестабільного забезпечення мінеральними ресурсами та підвищених вимог до якості аграрної продукції особливого значення набуває оптимізація елементів технології вирощування кукурудзи – однієї з провідних зернових культур світового аграрного сектору, яка вирізняється високою потенційною врожайністю та універсальністю використання.

Успішна реалізація генетичного потенціалу сучасних гібридів кукурудзи значною мірою залежить від щільності посівів, яка впливає на рівень конкуренції рослин за світло, воду та елементи живлення. Недотримання оптимальної густоти стояння рослин може призвести до значного зниження врожайності та погіршення якості зерна через порушення ростових процесів та нераціональне використання площі живлення.

Не менш важливим є значення позакоренових підживлень мікродобривами, які сприяють підвищенню фізіолого-біохімічної активності рослин, активізують фотосинтез, покращують процеси мінерального живлення, стійкість до стресових факторів та сприяють формуванню зерна з високими

показниками якості. Особливого значення це питання набуває в умовах дефіциту доступних елементів живлення в ґрунтах, обмеженого внесення макро- та мікродобрих та екологічних обмежень щодо надмірного застосування агрохімікатів.

Дослідження комплексного впливу генетичних, агротехнічних та агрохімічних факторів на ростові процеси, врожайність та якість зерна кукурудзи є актуальним з точки зору підвищення ефективності агровиробництва, адаптації технологій вирощування до умов конкретних регіонів та забезпечення сталого розвитку рослинницької галузі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами. Дисертаційну роботу виконано згідно теми науково-дослідної роботи Херсонського державного аграрно-економічного університету «Стратегічні напрямки розвитку адаптивних технологій вирощування сільськогосподарських культур за умов обмеженості природних і матеріальних ресурсів» (№ держреєстрації: 0117U006764).

Мета і завдання дослідження. Мета дослідження – наукове обґрунтування впливу густоти стояння рослин та позакоренових підживлень мікродобривами на врожайність та якість зерна гібридів кукурудзи різних груп ФАО марки ДЕКАЛБ в умовах Північного Степу України, а також визначення оптимальних елементів технології вирощування, які забезпечують максимальну реалізацію генетичного потенціалу культури.

Для досягнення поставленої мети було передбачено вирішення таких завдань:

- провести аналітичний огляд сучасних наукових джерел щодо впливу густоти стояння рослин та позакоренових підживлень мікродобривами на врожайність та якість зерна кукурудзи;
- надати комплексну агрокліматичну та ґрунтову характеристику зони проведення досліджень, у тому числі проаналізувати погодні умови у роки експерименту для оцінки їх впливу на реалізацію генетичного потенціалу культури;

- оцінити вплив досліджуваних факторів на формування площі листкової поверхні, фотосинтетичний потенціал та чисту продуктивність фотосинтезу гібридів кукурудзи різних груп ФАО;
- дослідити закономірності накопичення абсолютно сухої надземної біомаси досліджуваними гібридами кукурудзи залежно від густоти стояння рослин та позакоренових підживлень мікродобривами;
- визначити особливості сумарного водоспоживання та коефіцієнта водоспоживання гібридів кукурудзи за варіантами досліду;
- оцінити вплив досліджуваних факторів на збиральну вологість зерна, вихід зерна з качанів та масу 1000 зерен;
- дослідити закономірності формування врожайності зерна гібридів кукурудзи різних груп ФАО за впливу густоти стояння рослин і позакоренових підживлень мікродобривами та визначити найефективніші комбінації факторів;
- встановити вплив досліджуваних факторів на показники якості зерна – вміст сирого протеїну та жиру, а також розрахувати умовний вихід протеїну та олії з гектару посівів;
- здійснити кореляційно-регресійний аналіз для встановлення взаємозв'язків між урожайністю зерна кукурудзи та досліджуваними показниками;
- провести комплексний економічний та енергетичний аналіз ефективності елементів технології вирощування кукурудзи у досліді;
- узагальнити отримані результати та розробити практичні рекомендації щодо вдосконалення технології вирощування гібридів кукурудзи марки ДЕКАЛБ в умовах Північного Степу України.

Об'єкт дослідження – процеси росту і розвитку, формування врожайності та показників якості зерна гібридів кукурудзи різних груп ФАО залежно від густоти стояння рослин і позакоренових підживлень мікродобривами в ґрунтово-кліматичних умовах Північного Степу України.

Предмет дослідження – гібриди кукурудзи марки ДЕКАЛБ різних груп

ФАО, параметри густоти стояння рослин, позакореневі підживлення мікродобривами, фотосинтетична діяльність і водоспоживання посівів, накопичення надземної біомаси, елементи структури врожаю, урожайність та якість зерна (вміст протеїну і жиру, умовний вихід протеїну та олії), економічна та енергетична ефективність технології вирощування.

Методи дослідження. Для комплексної та об'єктивної реалізації поставленої мети і наукових завдань у дисертаційній роботі застосовано такі методи дослідження:

- порівняльно-аналітичний метод – для аналізу сучасного стану виробництва зерна кукурудзи в Україні та світі, оцінювання тенденцій продуктивності гібридів різних груп ФАО, вивчення наукових підходів щодо впливу густоти стояння рослин та позакореневих підживлень мікродобривами на ріст, розвиток та продуктивність культури;
- прогностичний метод – для оцінювання перспектив підвищення рівня врожайності та покращення показників якості зерна кукурудзи в умовах змін клімату та інтеграції нових технологічних рішень у систему вирощування;
- абстрактно-логічний метод – для формулювання теоретичних узагальнень, систематизації результатів експериментальних досліджень і формування практичних рекомендацій;
- метод спостереження – для здійснення фенологічних спостережень за етапами органогенезу досліджуваних гібридів, контролю за перебігом ростових процесів та відстеження змін за результатами біометричного обліку;
- польовий метод (дотримання вимог типового дослід, єдиної логічної відміни, порівняності, точності та відтворюваності) – для закладення та проведення трифакторного дослід, виконання біометричних вимірювань, обліку врожайності та відбору зразків для лабораторних аналізів;
- лабораторний метод – для визначення вологості ґрунту, площі листкової поверхні, накопичення абсолютно сухої надземної біомаси, збиральної

вологості зерна, маси 1000 зерен, вмісту сирого протеїну та жиру в зерні кукурудзи;

- розрахунковий метод – для обчислення показників сумарного водоспоживання, коефіцієнта водоспоживання, умовного виходу протеїну та олії з гектару посівів, а також для визначення ефективності використання досліджуваних елементів технології вирощування;
- статистичний метод – для математичної обробки результатів дослідів, проведення дисперсійного аналізу, оцінювання достовірності відмінностей між варіантами та встановлення взаємозв'язків між показниками;
- розрахунково-конструктивний метод і методи моделювання та перспективного прогнозування – для побудови кореляційно-регресійних залежностей між рівнем урожайності та досліджуваними показниками, виявлення причинно-наслідкових залежностей та оцінювання структурних змін за впливу густоти стояння рослин та позакореневих підживлень мікродобривами.

Наукова новизна результатів дослідження полягає у науковому обґрунтуванні та встановленні особливостей формування врожайності та якості зерна гібридів кукурудзи різних груп ФАО марки ДЕКАЛБ за впливу густоти стояння рослин, позакореневих підживлень мікродобривами та варіацій агрокліматичних умов у роки з різною зволоженістю на чорноземі звичайному в Північному Степу України.

Уперше:

- досліджено взаємодію густоти стояння рослин, позакореневих підживлень мікродобривами та агрокліматичних умов у формуванні врожайності та якості зерна гібридів кукурудзи різних груп ФАО в ґрунтово-кліматичних умовах Північного Степу України;
- встановлено закономірності ростових і продукційних процесів рослин кукурудзи залежно від поєднання біологічних особливостей гібридів різних груп ФАО, густоти стояння, позакореневих підживлень

мікродобривами та рівня зволоження у роки досліджень;

- обґрунтовано оптимальні поєднання густоти стояння рослин і позакоренових підживлень мікродобривами, що забезпечують максимальну реалізацію потенціалу гібридів кукурудзи різних груп ФАО;
- розраховано економічну та енергетичну ефективність використання мікродобрив за різних густот стояння з урахуванням варіабельності погодних умов за вирощування гібридів кукурудзи марки ДЕКАЛБ різних груп ФАО, що дозволило встановити найбільш рентабельні технологічні рішення для господарств регіону.

Удосконалено:

- елементи адаптивної технології вирощування кукурудзи на зерно, що передбачають диференційоване регулювання густоти посіву та варіативне застосування мікродобрив залежно від потенціалу гібридів марки ДЕКАЛБ різних груп ФАО і фактичного гідротермічного забезпечення в умовах Північного Степу України.

Набули подальшого розвитку:

- наукові уявлення щодо реакції гібридів кукурудзи різних груп ФАО на комплексний вплив абіотичних чинників (температурного режиму, інтенсивності сонячної радіації, рівня забезпеченості вологою) та технологічних заходів, зокрема густоти стояння рослин та позакоренових підживлень мікродобривами;
- підходи до оптимізації системи живлення кукурудзи на основі ресурсозберігаючих технологій, що забезпечують підвищення ефективності використання води, поживних речовин і фотосинтетично активної радіації у формуванні врожаю та показників якості зерна;
- рекомендації щодо впровадження адаптивних технологічних рішень для стабільного та енергоефективного виробництва зерна кукурудзи в ґрунтово-кліматичних умовах Північного Степу України, спрямовані на підвищення продуктивності культури, зростання економічної віддачі та зменшення ресурсних витрат за збереження екологічної рівноваги

агроландшафтів.

Практичне значення результатів дослідження. Обґрунтовано доцільність впровадження диференційованого підходу до добору гібридів кукурудзи, регулювання густоти стояння рослин та проведення позакоренових підживлень мікродобривами у технології вирощування культури в умовах Північного Степу України. Визначено, що за вирощування гібридів марки ДЕКАЛЬ ДКС 4391 (ФАО 350), ДКС 4712 (ФАО 370) та ДКС 5206 (ФАО 420) оптимальною густотою рослин є відповідно 65–70; 60–65 та 55–65 тис./га. Доцільно проводити два позакоренових підживлення мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза у дозі 0,75 кг/га у фази 3–5 та 7–9 листків (ВВСН 13–15 та ВВСН 17–19). Урожайність зерна за таких умов може досягати 9,2 т/га з умовним виходом білка 0,6–0,7 т/га та олії близько 0,4 т/га.

Застосування розроблених елементів технології забезпечує високі показники економічної та енергетичної ефективності: умовний чистий прибуток становить 54,3–54,7 тис. грн/га, рівень рентабельності – 118–120%, енергетичний коефіцієнт – 1,8. Отриманими результатами обґрунтовано практичну цінність проведених досліджень, що дозволяє рекомендувати їх до впровадження в аграрних підприємствах Північного Степу України з метою підвищення продуктивності та адаптації технологій вирощування кукурудзи за мінливих агрокліматичних умов.

Результати дисертаційної роботи впроваджено у ФГ «ВИКО» Бериславського району Херсонської області на площі 7 га та ТОВ «АГРОТЕХНОЛОГІЯ» Кіровоградської області (м. Кропивницький) на площі 3 га (додатки А.1, А.2).

Особистий внесок здобувача. Дисертація є завершеним науковим дослідженням, виконаним здобувачем самостійно. У процесі виконання роботи автором опрацьовано та узагальнено широке коло наукових джерел, що охоплюють праці як українських, так і зарубіжних науковців, відповідно до обраної тематики. Спільно з науковим керівником було сформульовано гіпотезу дослідження, визначено мету, основні завдання, методичні підходи та

складено програму експериментальних досліджень. Здобувачем особисто проведено закладення польового дослід, обліки, спостереження, а також здійснено аналіз отриманих результатів з урахуванням їх практичної цінності. Окрім того, проведено розрахунки економічної та енергетичної ефективності, виконано статистичну обробку експериментальних даних, сформульовано наукові висновки та розроблено рекомендації для виробничого впровадження. Результати дослідження було апробовано в умовах виробництва та відображено в дисертаційній роботі, підготовленій до публікації.

Апробація матеріалів дисертації. Основні положення наукової роботи доповідались і обговорювались на засіданнях кафедри рослинництва та агроінженерії, Вченої ради агрономічного факультету Херсонського державного аграрно-економічного університету (Кропивницький, 2022–2025 рр.). Результати наукового дослідження оприлюднено та обговорено на: Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених з нагоди Дня науки в Україні «Наукові основи реалізації принципів кліматично орієнтованого сільського господарства в агросфері України» (Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН України, м. Одеса, 17 травня 2024 р.); I Міжнародній науково-практичній конференції, присвяченій Дню науки в Україні «Ефективні системи захисту рослин як інструмент сталого розвитку аграрного сектору економіки та суспільства» (Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон-Кропивницький, 16 травня 2025 р.); Міжнародному форумі «Продовольча безпека України в умовах післявоєнного відновлення: глобальні та національні виміри» (Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, 28–30 травня 2025 р.); 1st International Scientific and Practical Conference «Innovative Research in Science and Economy» (Brussels, Belgium, July 30 – August 1, 2025); Міжнародній науково-практичній конференції, присвяченій до 130-річчя заснування Одеської державної сільськогосподарської дослідної станції *«Ротмістровські читання частина 2: технології вирощування сільськогосподарських культур та трансформація властивостей ґрунту в*

умовах змін клімату» (Одеська ДСДС ІКОСГ НААН, м. Одеса, 25 вересня 2025 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «*Адаптація агровиробництва до змін клімату та ґрунтової родючості*» (Миколаївська державна сільськогосподарська дослідна станція Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН України, с-ще Полігон, Миколаївського району, Миколаївської області, 9 жовтня 2025 р.).

Публікації результатів досліджень. За результатами наукового дослідження опубліковано 14 наукових праць, з яких: 1 стаття у науковому фаховому виданні, включеному до міжнародних наукометричних баз даних (Scopus, Q2), 7 статей у фахових виданнях України, 6 тез доповідей на міжнародних науково-практичних конференціях.

Структура та обсяг роботи. Дисертацію викладено на 259 сторінках комп'ютерного тексту, в тому числі основного тексту – 199 сторінок. Робота містить анотацію, вступ, 6 розділів, висновки, рекомендації виробництву, список використаних джерел та додатки. Дисертація містить 37 таблиць та 84 рисунки. Список використаних джерел налічує 292 найменування, з яких 155 – латиницею.

РОЗДІЛ 1

ВИРОБНИЦТВО КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО: ГЛОБАЛЬНІ ТЕНДЕНЦІЇ ТА УКРАЇНСЬКИЙ ДОСВІД, НАУКОВІ ТА ПРАКТИЧНІ ПІДХОДИ

1.1. Сучасний стан, проблеми та перспективи виробництва зерна кукурудзи

Кукурудза належить до провідних сільськогосподарських культур світового значення та займає лідируючі позиції у продовольчій, кормовій та переробній галузях. Завдяки високому рівню врожайності та універсальності використання, вона забезпечує сировиною виробництво круп, борошна, олії, крохмалю, спирту тощо, а також широко використовується у тваринництві та в якості біотехнологічної сировини для промислового виробництва [80, 113, 265].

За сучасних умов кукурудзу дедалі більше розглядають як джерело поновлюваної енергії. Завдяки високому вмісту крохмалю (до 85%) та відпрацьованим технологіям переробки, ця культура набуває стратегічного значення в біоенергетиці, особливо у виробництві біоетанолу [23]. За даними FAO, у США понад 40% валового збору зерна кукурудзи використовують на потреби виробництва біопалива. Перспективи виробництва біоетанолу в Україні також є значними: переробка 10 млн тонн зерна дозволяє одержати до 4 млн тонн біопалива, що потенційно може замінити значну частину імпортованих енергоносіїв [87].

У післявоєнний період, коли постане завдання комплексного відновлення економіки України, зокрема її енергетичної та аграрної складових, розвиток напрямку виробництва біопалива з кукурудзи набуде особливої актуальності. Такий підхід дозволить не лише знизити енергетичну залежність країни, а й суттєво зменшити викиди парникових газів, що відповідає глобальним тенденціям декарбонізації агровиробництва [194].

У зв'язку з цим, зростання обсягів виробництва кукурудзи в Україні стає актуальним завданням, яке потребує глибокого наукового обґрунтування

шляхів підвищення її продуктивності та ефективності вирощування в умовах змін клімату, економічної нестабільності та воєнних загроз.

Упродовж останніх десятиліть світове виробництво зерна кукурудзи стабільно зростає, що зумовлено як підвищеним попитом, так і розвитком інноваційних агротехнологій. Провідними країнами з вирощування кукурудзи на зерно залишаються США, Китай і Бразилія, які формують основу світового ринку цієї культури. Водночас в Україні, яка до 2022 р. входила до п'ятірки найбільших експортерів кукурудзи у світі, ситуація зазнала істотних змін через воєнну агресію та порушення логістики. За даними JRC MARS [160], попри відносно високі рівні врожайності, загальні обсяги виробництва знизилися внаслідок зменшення посівних площ і ускладнення доступу до ресурсів. Інші джерела [28] вказують на додаткові чинники ризику – зростання вартості мінеральних добрив і засобів виробництва, які суттєво впливають на рентабельність вирощування кукурудзи в Україні.

З огляду на зростаючу увагу до екологічних проблем, актуальності набувають дослідження щодо впровадження біологізованих технологій виробництва кукурудзи. Так, за результатами досліджень Zakharchenko et al. [284], застосування біодобрив, зокрема бактеріального походження, дозволяє підвищити зернову продуктивність на низькородючих ґрунтах і зменшити залежність від високовартісних мінеральних ресурсів. Крім того, широке використання цифрових технологій, дронів та автоматизованих систем управління створює нові можливості для адаптації аграрного виробництва до сучасних реалій [103].

Світові тенденції також вказують на необхідність трансформації галузі в умовах зміни клімату: згідно з останніми аналітичними оглядами [157], підвищення температури на 1°C може призвести до зниження врожайності кукурудзи майже на 7–8%. Одночасно, в умовах геополітичної напруженості, спостерігається зміна структури світової торгівлі кукурудзою, що послаблює стабільність її постачання до країн, найбільш чутливих до зовнішніх ринкових коливань [36, 101].

Таким чином, сучасний стан галузі вирощування кукурудзи в Україні визначається поєднанням світових виробничих трендів, внутрішніх економічних і політичних чинників, а також кліматичних змін. Тому аналіз динаміки площ посівів, урожайності та обсягів виробництва цієї культури є необхідним для розробки ефективних заходів з підвищення її продуктивності та забезпечення сталого агровиробництва в умовах нестабільності.

Світові площі посівів кукурудзи на зерно мають тенденцію до зростання. Так, якщо у 2000 р. вони становили 136,9 млн га, то у 2023 р. – 208,2 млн га, тобто збільшились на 52% (табл. 1.1). Серед регіонів світу найбільші площі посівів під цю зернову культуру відводять у країнах Америки – 55,4–79,0 млн га, причому за досліджуваний період (2000–2023 рр.) спостерігається стійка тенденція до їх зростання з максимальним значенням у 2023 р. Значно збільшили посівні площі під кукурудзою і країни Азії. Якщо у 2000 р. тут було засіяно 41,8 млн га, то у 2023 р. – 68,5 млн га, тобто на 64% більше. Стійке зростання площ посівів кукурудзи на зерно відбувається і в країнах Африки – з 24,2 млн га у 2000 р. до 44,1 млн га у 2023 р. Певні коливання посівних площ, зайнятих зерновою кукурудзою, слід відзначити на Європейському континенті. Найбільшими вони були у 2020–2021 рр. – 19,3–19,7 млн га. Незначні зміни за площами посівів кукурудзи відбулися у країнах Океанії, тут вони є мінімальними, порівняно з іншими регіонами світу. У середньому за досліджуваний 24-річний період (2000–2023 рр.) 37,96% площ посівів кукурудзи на зерно було зосереджено в країнах Америки, 32,62% – Азії, 20,04% – Африки, 9,32% – Європи і лише 0,05% – Океанії.

До топ-п'ятірки країн-лідерів за площами посівів кукурудзи на зерно входять США (18,6% від світових площ посівів у середньому за 2000–2023 рр.), Китай (19,9%), Бразилія (8,7%), Індія (4,9%) та Аргентина (2,7%). 45,3% припадає на всі інші країни-виробники цієї зернової культури. В усіх країнах-лідерах можна спостерігати тенденцію до збільшення площ посівів кукурудзи на зерно. Якщо за період 2000–2005 рр. їх частка у світовій площі посівів цієї культури становила 53,2%, то за період 2016–2020 рр. – 55,4%, а у 2021–

2023 рр. – 56,7% (рис. 1.1).

Таблиця 1.1

Динаміка площ посівів кукурудзи на зерно за регіонами світу

(джерело: FAOSTAT, 2024 [227])

Рік	Регіони світу										Світова площа посівів, млн га
	Азія		Америка		Африка		Європа		Океанія		
	млн га	% від світової площі посівів	млн га	% від світової площі посівів	млн га	% від світової площі посівів	млн га	% від світової площі посівів	млн га	% від світової площі посівів	
2000	41,817	30,55	57,304	41,86	24,248	17,71	13,426	9,81	0,104	0,08	136,899
2001	42,821	31,17	57,000	41,50	23,973	17,45	13,471	9,81	0,096	0,07	137,361
2002	43,062	31,33	55,406	40,31	25,578	18,61	13,286	9,67	0,107	0,08	137,439
2003	43,793	30,29	57,653	39,88	28,272	19,56	14,781	10,22	0,074	0,05	144,573
2004	45,656	30,95	58,324	39,54	27,782	18,83	15,650	10,61	0,094	0,06	147,507
2005	47,204	31,86	57,508	38,81	29,595	19,97	13,776	9,30	0,097	0,07	148,179
2006	49,099	33,14	57,270	38,65	28,153	19,00	13,563	9,15	0,091	0,06	148,177
2007	50,996	32,02	66,101	41,51	28,480	17,88	13,602	8,54	0,071	0,04	159,249
2008	52,429	32,03	64,195	39,22	31,444	19,21	15,515	9,48	0,091	0,06	163,674
2009	53,474	33,55	61,587	38,64	30,302	19,01	13,933	8,74	0,091	0,06	159,386
2010	55,068	33,31	62,900	38,04	33,251	20,11	14,031	8,49	0,082	0,05	165,332
2011	56,253	32,56	64,410	37,29	35,343	20,46	16,651	9,64	0,085	0,05	172,743
2012	58,007	32,16	67,787	37,58	36,399	20,18	18,082	10,03	0,094	0,05	180,368
2013	60,128	32,06	70,753	37,73	37,681	20,09	18,865	10,06	0,102	0,05	187,530
2014	60,876	32,64	68,349	36,65	38,463	20,63	18,714	10,04	0,079	0,04	186,481
2015	68,454	35,83	66,934	35,04	37,751	19,76	17,825	9,33	0,084	0,04	191,048
2016	67,663	34,83	70,087	36,07	39,014	20,08	17,451	8,98	0,076	0,04	194,292
2017	67,047	33,82	71,734	36,18	42,023	21,20	17,349	8,75	0,090	0,05	198,243
2018	65,301	33,59	70,524	36,27	41,462	21,33	17,055	8,77	0,075	0,04	194,417
2019	63,875	32,65	71,228	36,41	42,110	21,52	18,347	9,38	0,081	0,04	195,640
2020	63,899	32,02	73,464	36,81	42,822	21,46	19,319	9,68	0,059	0,03	199,562
2021	66,489	32,39	75,735	36,89	43,334	21,11	19,661	9,58	0,069	0,03	205,288
2022	66,878	32,89	75,788	37,27	43,183	21,23	17,441	8,58	0,074	0,04	203,365
2023	68,535	32,91	79,049	37,96	44,090	21,17	16,460	7,90	0,101	0,05	208,234

В Україні за період 2000–2010 рр. площі посівів кукурудзи на зерно варіювали в межах від 1,123 млн га у 2001 р. до 2,648 млн га у 2010 р. (рис. 1.2). Надалі відбулося їх стрімке зростання до 4,827 млн га у 2013 р. і зменшення до 4,084 млн га у 2015 р.

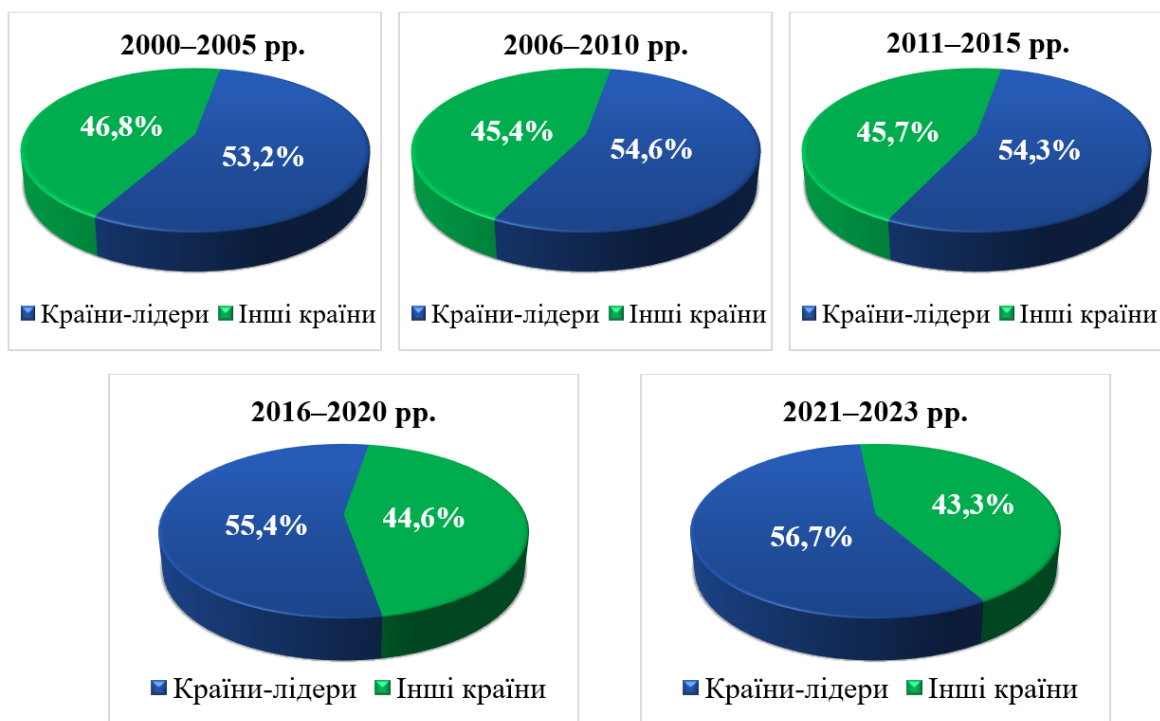


Рис. 1.1. Частка країн-лідерів у світовій площі посівів кукурудзи на зерно (джерело: FAOSTAT, 2024)

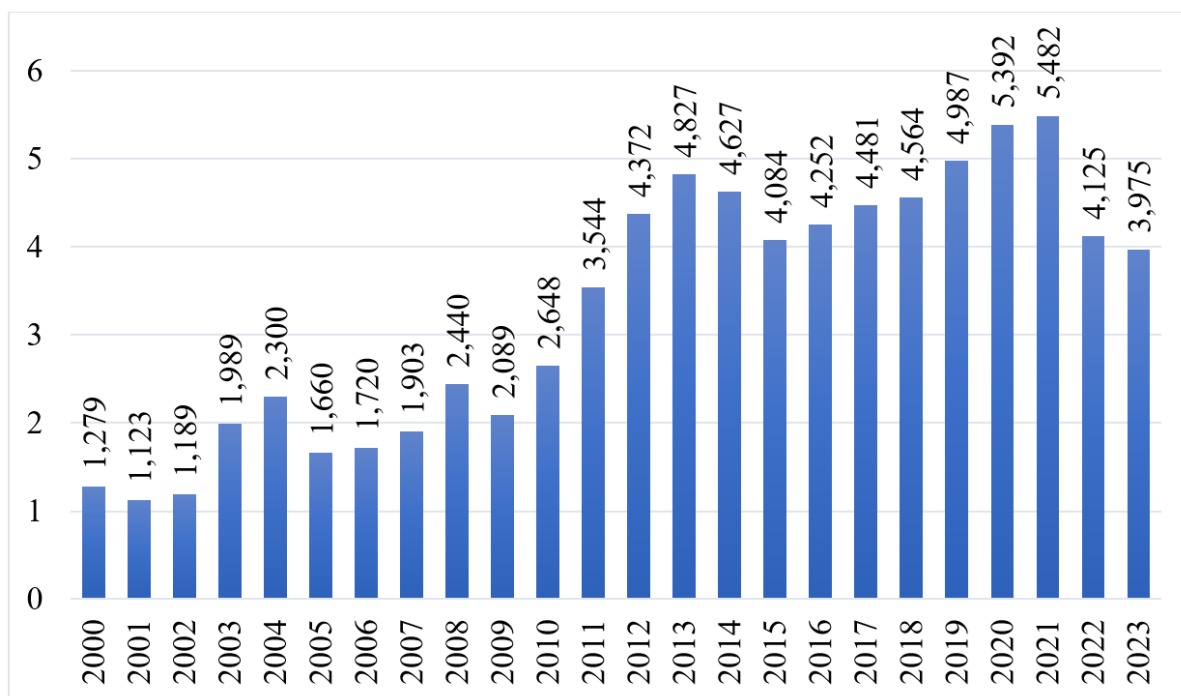


Рис. 1.2. Динаміка площ посівів кукурудзи на зерно в Україні, млн га (джерело: FAOSTAT, 2024)

Починаючи з 2016 р., площі, відведені під кукурудзу на зерно, з кожним роком зростали і досягли свого максимуму у 2021 р. – 5,482 млн га. Загальне збільшення площ майже в 4,3 рази з 2000 по 2021 р. свідчить про значний

розвиток кукурудзяної галузі в нашій країні. Незважаючи на військовий стан, складну економічну та безпекову ситуації, у 2022–2023 рр. кукурудзою було засіяно 3,975–4,125 млн га, що є досить високим показником.

Світове виробництво зерна кукурудзи за період 2000–2012 рр. коливалося в межах 592,0–887,6 млн тонн, а за період 2013–2023 рр. – 1016,6–1241,6 млн тонн (табл. 1.2). Тобто, як свідчать наведені дані, відбулося суттєве (більше, ніж удвічі) його зростання за досліджуваний 24-річний період.

51,4% від світового обсягу виробництва зерна кукурудзи у загальному обсязі за 2000–2023 рр. забезпечували країни Америки, 30,1% – Азії, 10,9% – Європи, 7,4% – Африки та лише 0,1% – Океанії (рис. 1.3). При цьому країни-лідери виробляли 70,0% від загальносвітового виробництва зерна кукурудзи.

В усіх зазначених країнах за досліджуваний період відбулося зростання обсягів виробництва: в США – з 251,9 до 389,7 млн тонн, у Китаї – з 106,2 до 289,1 млн тонн, у Бразилії – з 32,3 до 132,0 млн тонн, в Індії – з 12,0 до 38,1 млн тонн. Аргентина не є виключенням із зазначеної закономірності, але цій країні притаманне значне варіювання обсягів виробництва зерна кукурудзи за роками вирощування. Мінімальними вони були у 2009 р. – 13,1 млн тонн, максимальними – у 2021 р. – 60,5 млн тонн.

Значення України на світовому ринку зерна кукурудзи поступово зростає. У 2000 р. наша країна займала невелику нішу у світовому виробництві зерна кукурудзи – 0,7% від загального обсягу, що свідчить про обмежену масштабність вирощування цієї культури в цей період (рис. 1.4). З 2003 р. відбулося помітне збільшення частки у світовому виробництві – 1,1–1,2% у 2003–2004 роках, що було обумовлено як збільшенням площ посівів, так і вдосконаленням агротехнічних заходів, які сприяли зростанню врожайності. У період 2005–2010 рр. спостерігали деякі коливання обсягів виробництва зерна кукурудзи – від 6,426 млн тонн у 2006 р. до 11,953 млн тонн у 2010 р. або від 0,9 до 1,4% загального обсягу світового виробництва.

З 2011 року відбулося значне зростання частки України у світовому виробництві зерна кукурудзи – до 2,6% у 2011 р., 2,4% у 2012 р. та пікове

значення 3,0% у 2013 р. Цей період характеризувався інноваційними елементами агротехнологій та активною інтеграцією українського агросектору до світових ринків.

Таблиця 1.2

Динаміка виробництва зерна кукурудзи за регіонами світу

(джерело: FAOSTAT, 2024)

Рік	Регіони світу										Світове виробництво, млн тонн
	Азія		Америка		Африка		Європи		Океанія		
	млн тонн	% від світового виробництва	млн тонн	% від світового виробництва	млн тонн	% від світового виробництва	млн тонн	% від світового виробництва	млн тонн	% від світового виробництва	
2000	149,0	25,17	335,4	56,66	43,8	7,40	63,1	10,66	0,6	0,10	592,0
2001	159,1	25,87	337,9	54,93	41,4	6,73	76,1	12,37	0,5	0,08	615,1
2002	164,2	27,21	317,4	52,59	45,0	7,46	76,3	12,64	0,6	0,10	603,5
2003	167,6	25,98	362,1	56,14	45,6	7,07	69,2	10,73	0,5	0,08	645,0
2004	184,8	25,34	399,7	54,80	48,3	6,62	96,0	13,16	0,6	0,08	729,4
2005	197,6	27,67	379,5	53,14	50,4	7,06	85,9	12,03	0,6	0,08	714,1
2006	210,3	29,71	369,4	52,19	50,2	7,09	77,3	10,92	0,6	0,08	707,8
2007	219,0	27,60	455,3	57,38	49,2	6,20	69,5	8,76	0,4	0,05	793,5
2008	238,3	28,72	437,8	52,77	58,9	7,10	94,1	11,34	0,6	0,07	829,7
2009	234,2	28,53	440,6	53,68	60,8	7,41	84,6	10,31	0,6	0,07	820,8
2010	253,7	29,76	445,6	52,26	67,3	7,89	85,5	10,03	0,5	0,06	852,6
2011	271,1	30,54	437,9	49,34	66,9	7,54	111,1	12,52	0,6	0,07	887,6
2012	288,3	32,97	418,2	47,82	72,3	8,27	95,0	10,86	0,7	0,08	874,5
2013	305,1	30,01	519,6	51,11	71,6	7,04	119,5	11,75	0,7	0,07	1016,6
2014	303,7	29,19	526,8	50,63	80,3	7,72	129,0	12,40	0,6	0,06	1040,4
2015	353,5	33,55	521,9	49,53	73,7	6,99	103,9	9,86	0,7	0,07	1053,8
2016	355,3	31,62	576,4	51,30	73,5	6,54	117,7	10,48	0,6	0,05	1123,5
2017	356,1	31,33	578,4	50,89	90,5	7,96	110,9	9,76	0,6	0,05	1136,5
2018	351,5	31,59	549,2	49,35	83,2	7,48	128,4	11,54	0,6	0,05	1112,8
2019	356,9	31,39	562,8	49,50	83,9	7,38	132,8	11,68	0,5	0,04	1136,9
2020	357,6	30,96	580,2	50,24	93,2	8,07	123,4	10,68	0,5	0,04	1154,9
2021	374,9	31,12	590,2	48,99	97,1	8,06	141,9	11,78	0,5	0,04	1204,7
2022	389,5	33,52	574,5	49,44	94,8	8,16	102,7	8,84	0,6	0,05	1162,1
2023	403,7	32,51	623,2	50,19	95,0	7,65	119,0	9,58	0,6	0,05	1241,6

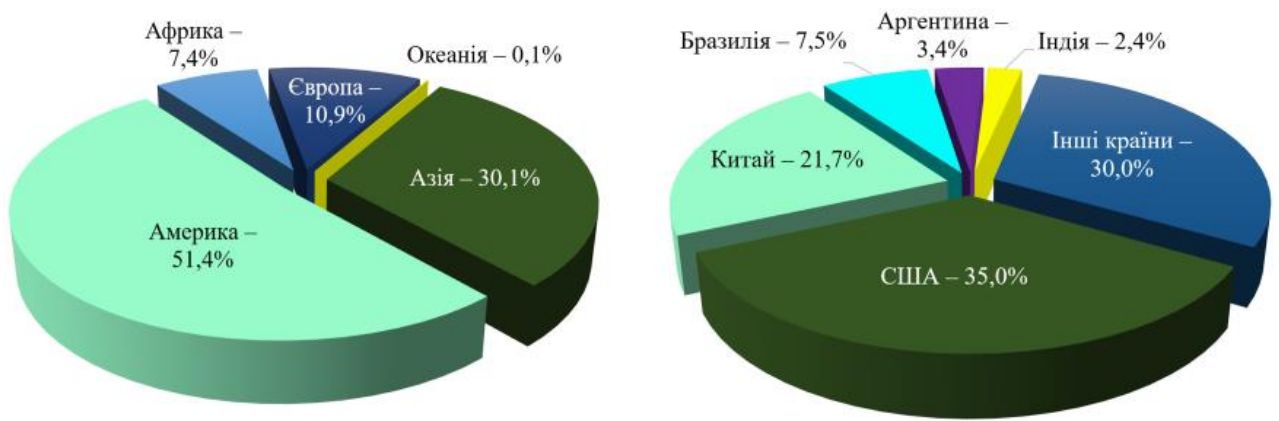


Рис. 1.3. Частка регіонів та країн-лідерів у світовому виробництві зерна кукурудзи у загальному обсязі за 2000–2023 рр. (джерело: FAOSTAT, 2024)

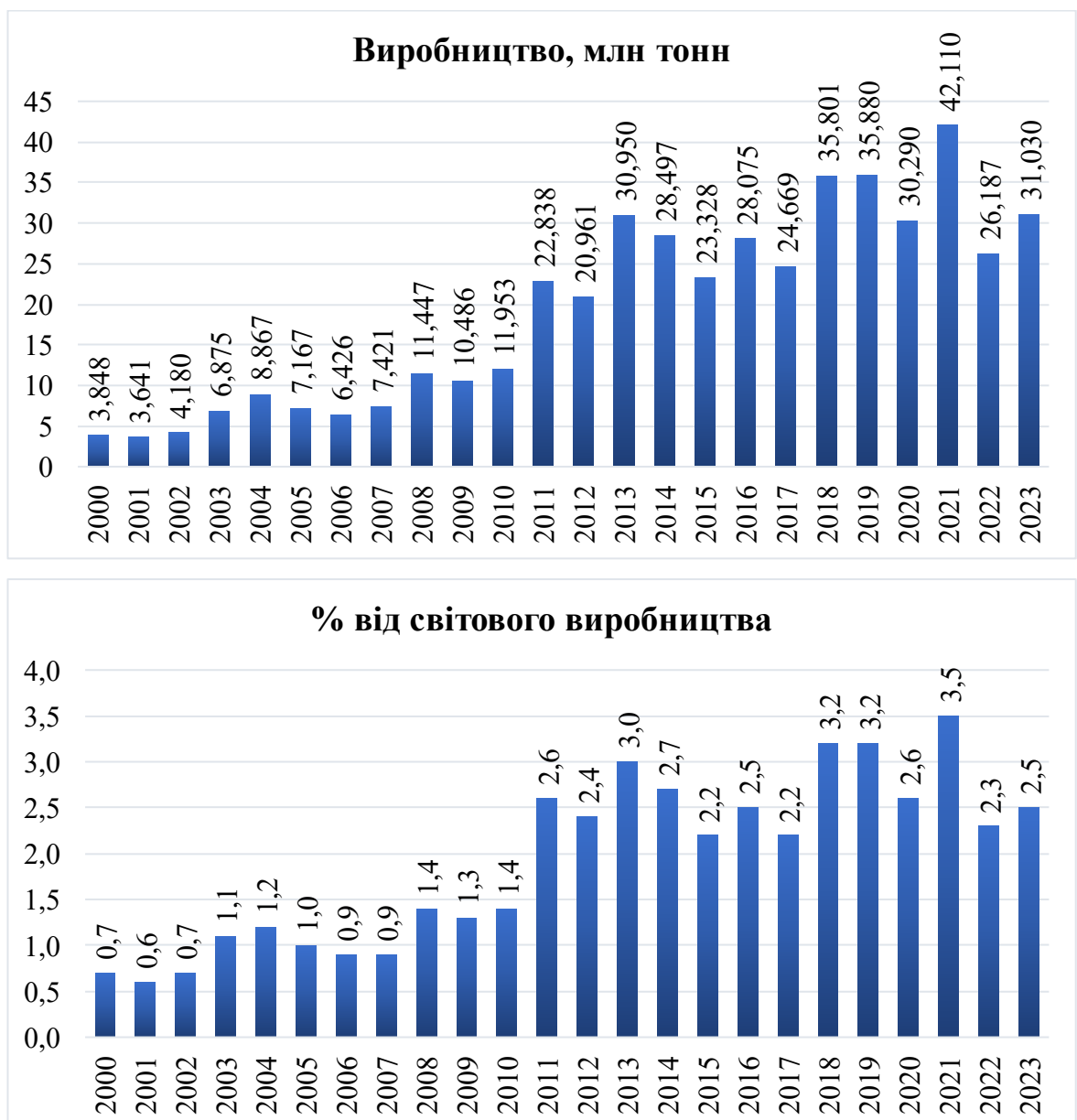


Рис. 1.4. Динаміка виробництва зерна кукурудзи в Україні та його частка у світовому виробництві (джерело: FAOSTAT, 2024)

Упродовж 2014–2021 рр. спостерігали стабілізацію зерновиробництва кукурудзи у нашій країні з невеликими коливаннями – від 2,2 до 2,7% у середині десятиліття, з подальшим зростанням до 3,2% у 2018–2019 рр. і максимальним 3,5% у 2021 р., у якому було вироблено 42,110 млн тонн зерна кукурудзи, що майже в 12 разів більше, порівняно з 2001 р., що свідчить про сталість нарощування обсягів виробництва та збереження конкурентоспроможності української кукурудзи на міжнародному ринку.

В останні роки проявляється зниження обсягів виробництва зерна кукурудзи, що пов'язано, з військовими діями на території нашої країни, змінами ринкових умов, а також різкими коливаннями погодних умов, які суттєво впливають на сільськогосподарське виробництво в Україні.

Одним із головних чинників, що визначають обсяги виробництва зерна кукурудзи, є рівень урожайності, від якого залежить ефективність використання посівних площ, ресурсів та загальна продуктивність культури. Тому доцільно розглянути динаміку врожайності зерна кукурудзи в Україні та проаналізувати фактори, які на неї впливають.

Упродовж 2000–2023 рр. урожайність кукурудзи на зерно в Україні зазнала суттєвих змін і в цілому проявляла стійку тенденцію до зростання. На початку досліджуваного періоду (2000 р.) середня врожайність становила лише 3,01 т/га (рис. 1.5), що характеризувало переважно екстенсивний напрям виробництва, недостатнє застосування високопродуктивних гібридів, агротехнологічні порушення та слабке технічне забезпечення аграрного сектору.

У період 2000–2010 рр. спостерігали поступове зростання врожайності, яке можна пояснити активним впровадженням інтенсивних технологій вирощування, удосконаленням сорто-гібридного складу та оновленням матеріально-технічної бази господарств. Так, уже в 2005 р. врожайність досягла 4,32 т/га, а у 2009 р. перевищила 5 т/га. У 2010 р. вона знизилася до 4,51 т/га, що було пов'язано з несприятливими погодними умовами.

Справжнє досягнення відбулося у 2011 р., у якому середня врожайність зерна кукурудзи зросла до 6,44 т/га і в подальшому формувалася стабільно

високою. У 2013, 2014 та 2016 рр. рівень урожайності перевищував 6 т/га, а у 2018 р. досяг 7,84 т/га, що виявилося максимальним показником за весь досліджуваний період. Майже аналогічний рівень урожайності було отримано у 2021 (7,68 т/га) та 2023 роках (7,81 т/га), що свідчить про реалізацію високого генетичного потенціалу сучасних гібридів кукурудзи та вдосконалення елементів технологій її вирощування.

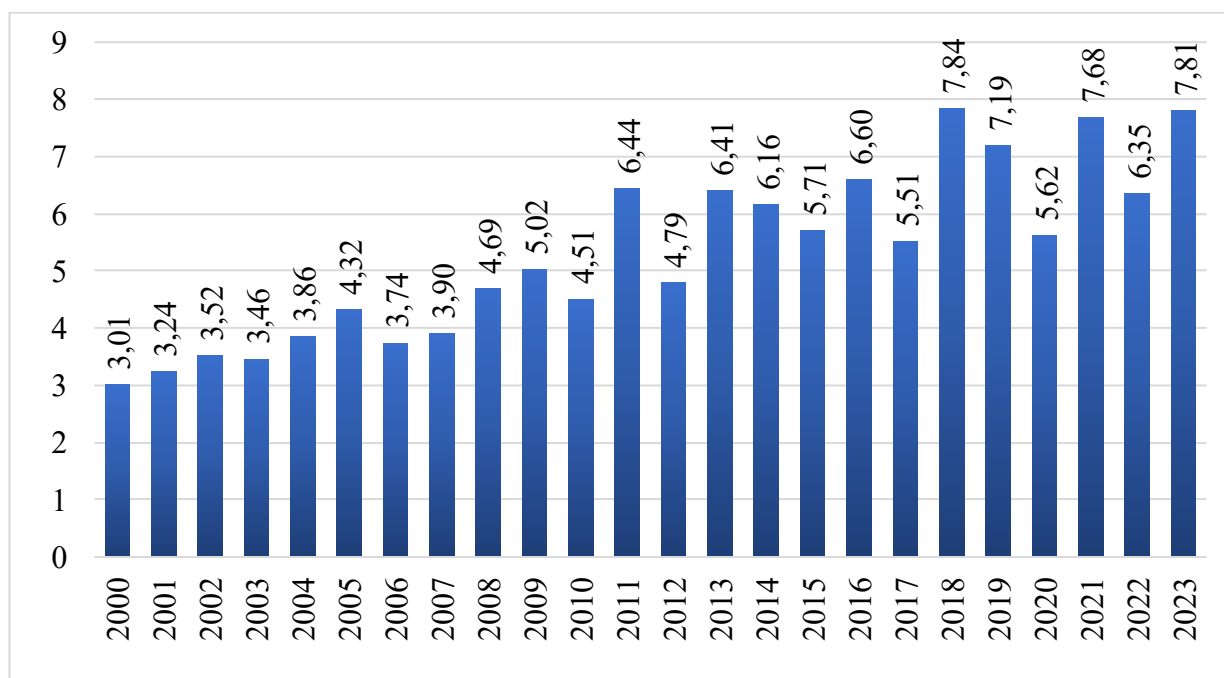


Рис. 1.5. Динаміка рівня врожайності зерна кукурудзи в Україні, т/га
(джерело: FAOSTAT, 2024)

Водночас досить низький рівень урожайності в окремі роки (наприклад, у 2012 – 4,79 т/га, 2017 – 5,51 т/га, 2020 – 5,62 т/га) свідчить про чутливість кукурудзи до гідротермічного режиму, зокрема значної посушливості у критичні фази розвитку рослин. Незважаючи на це, загальна тенденція залишалася позитивною: середня врожайність за період 2000–2010 рр. становила близько 4,2 т/га, а за 2011–2023 рр. – перевищила 6,4 т/га, що свідчить про суттєве нарощування темпів ефективності виробництва. Загалом, за досліджуваний період в Україні відбулася трансформація виробництва зерна кукурудзи з екстенсивної до інтенсивної моделі, що забезпечило суттєве зростання рівня врожайності навіть за нестійких кліматичних умов.

Порівняльний аналіз з країнами-лідерами з виробництва зерна кукурудзи

засвідчує, що рівень урожайності цієї культури в Україні є значно вищим, ніж в Індії, Бразилії та з 2010 р. Китаї (рис. 1.6). Проте Аргентина завжди випереджала нашу країну за даним показником, окрім останніх трьох років, а США серед країн-лідерів з виробництва традиційно утримують лідируючі позиції за врожайністю зерна кукурудзи, яка становила 8,94 т/га ще на початку 2000-х і досягла 11,04 т/га у 2021–2023 рр., що вдвічі вище від середньосвітового показника. Зазначений рівень урожайності в США є результатом комплексного впровадження сучасних технологічних заходів, інноваційної селекційної роботи, розвиненої матеріально-технічної бази та раціонального вологозабезпечення посівів.

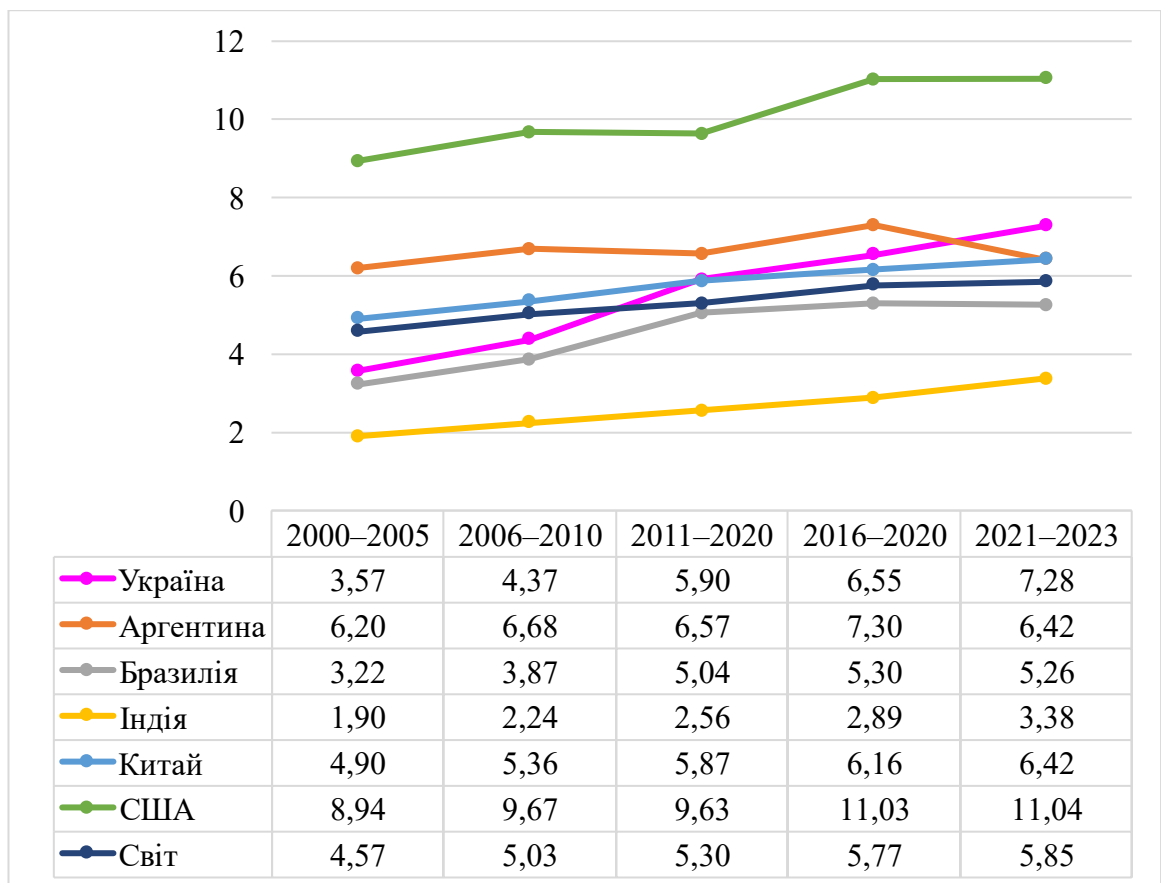


Рис. 1.6. Порівняльна діаграма рівня врожайності зерна кукурудзи в Україні, країнах-лідерах з виробництва та світі, т/га (джерело: FAOSTAT, 2024)

Україна за досліджуваний період показала найвищі темпи зростання врожайності зерна кукурудзи серед країн-лідерів з виробництва, що є свідченням покращення технологічного рівня галузі, незважаючи на серйозні

прояви, пов'язані з повномасштабною війною, руйнуванням інфраструктури, порушенням логістики і мінливими умовами агровиробництва в зоні бойових дій. Це свідчить про значний адаптивний потенціал українського аграрного сектору та його високу ефективність навіть за критичних умов. Проте досягнення рівня США залишаються стратегічною метою, з огляду на їх стабільно високу результативність у виробництві зерна кукурудзи. Тому необхідність удосконалення технології вирощування цієї культури в Україні набуває все більшої актуальності. Рациональне використання потенціалу сучасних високопродуктивних гібридів передбачає впровадження комплексу науково обґрунтованих заходів, зокрема:

- адаптацію густоти стояння рослин з урахуванням гідротермічних умов конкретного регіону [46, 181, 207];
- оптимізацію мінерального живлення залежно від типу ґрунту та рівня його забезпеченості елементами живлення [8, 115, 127];
- проведення позакоренових підживлень мікроелементами у критичні фази росту й розвитку, що сприяє активізації фізіолого-біохімічних процесів у рослині [92, 189, 255];
- інтеграцію сучасних заходів технології, які забезпечують максимальну реалізацію генетичного потенціалу продуктивності культури [31, 39, 79, 90, 106] тощо.

Запровадження зазначених агротехнічних заходів сприятиме підвищенню врожайності, стабільності виробництва зерна кукурудзи та зростанню економічної ефективності галузі, навіть за умов зовнішніх викликів і нестабільного середовища.

1.2. Сучасний асортимент гібридів кукурудзи в Україні: аналіз та перспективи

На продуктивність кукурудзи прямо або опосередковано впливають біотичні та абіотичні чинники, а також складові структури самої рослини. Зміна

кліматичних умов, створення нових сортів і гібридів обумовлюють необхідність постійного наукового пошуку щодо формування продуктивності цієї культури в тих чи інших ґрунтово-кліматичних умовах. Так, продуктивність гібридів кукурудзи селекції ТОВ «Піонер Насіння України» та французької компанії «Laboulet» вивчали в умовах навчально-науково-виробничого комплексу Уманського НУС. Результати дворічних досліджень показали, що врожайність та якість зерна гібридів кукурудзи, взятих на вивчення, значною мірою залежали від потенційних можливостей самого гібриду та погодних умов, які склалися у роки вирощування. Досліджувані гібриди формували зерно з дуже високим вмістом крохмалю і дуже низьким або низьким вмістом протеїну та жиру, мали різний показник натури зерна. За результатами проведених досліджень для умов Правобережного Лісостепу було рекомендовано до впровадження у виробництво найкращі за продуктивністю гібриди кукурудзи [68].

Біологічні особливості гібридів кукурудзи та агроекологічні умови років вирощування значною мірою позначились на тривалості міжфазних періодів та показниках індивідуальної продуктивності ранньостиглого гібриду Р8521, середньораннього PR39B76 та середньостиглого PR38N86 [38].

Порівняльний аналіз продуктивності 22 гібридів кукурудзи різних груп стиглості селекції компанії «Syngenta» здійснювали в умовах Лісостепової зони України. Найвищу врожайність зерна показали гібриди НК Фалькон (ФАО 220), Сімба (ФАО 270), Люциус (ФАО 340), Долар (ФАО 390) та Галактик (ФАО 470). В умовах зрошення Південного Степу України високою продуктивністю відзначено гібриди селекції «Syngenta» Імпульс (ФАО 280), Ротанго (ФАО 200) та Енермакс (ФАО 330) [76, 78].

За результатами досліджень продуктивності гібридів кукурудзи різних груп стиглості селекції Інституту зрошуваного землеробства НААН в умовах Південного Степу України встановлено, що максимальну врожайність зерна забезпечують гібриди Подільський 274 СВ (ФАО 270), Азов (ФАО 330), ВЦ 380 МВ (ФАО 380) та Соколов 407 МВ (ФАО 400) [47].

У незрошуваних умовах Південного Степу України зі збільшенням групи ФАО врожайність гібридів кукурудзи мала чітку закономірність до зменшення. Найвищу врожайність сформували ранньостиглі гібриди ДН Паланок (ФАО 180) і ДБ Лада (ФАО 190). В умовах зрошення максимальний рівень урожайності встановлено за вирощування гібридів вітчизняної селекції Асканія (ФАО 320), ДН Булат (ФАО 350), ДН Рава (ФАО 430) та Приморський (ФАО 430) [41].

Інноваційним напрямом сьогодення є вирощування низькорослих гібридів кукурудзи зі значно меншою надземною біомасою, ніж раніше, ще 5 років тому назад, коли діяльність аграріїв, навпаки, була спрямована на максимальний ріст рослин у висоту та формування ними потужної вегетативної маси. Такі відомі компанії, як «Bayer» (гібриди Monsanto, DEKALB), «Corteva» (гібриди Pioneer) наразі прагнуть максимально зменшити вегетативну масу рослин кукурудзи, щоб більшість елементів живлення надходила до качана, а качан максимально швидко віддавав вологу – процеси, які неможливо пришвидшити у разі формування великого габітусу рослин [97].

Обґрунтований добір гібридів кукурудзи різних груп ФАО для конкретних ґрунтово-кліматичних умов вирощування розкриває значні перспективи збільшення врожайності, покращення якості зерна, забезпечення сталого розвитку зернової галузі та посилення позицій України на міжнародному ринку аграрної продукції [2, 18], що визначає актуальність проведеного наукового пошуку.

Основною вимогою сучасних аграріїв до гібридного складу кукурудзи, безумовно, є здатність гібридів формувати високий рівень продуктивності, що, в свою чергу, сприяє зниженню собівартості та зростанню економічної ефективності виробництва зерна. У довоєнний період, віддаючи перевагу тому чи іншому гібриду, враховували, в першу чергу, його адаптивність до ґрунтово-кліматичних і погодних умов. На сьогодні формат вимог дещо змінився, і першочергові питання, які вирішуються, стосуються війни, ціни та логістичних рішень. Якщо вести мову про конкретні гібриди, то у 2023 р. високим попитом

користувалися пластичні гібриди, які добре витримують тривалий перестій, а на час посівної 2024 р. першочерговою вимогою вже є збиральна вологість зерна, а саме – зерно має бути сухим (рис. 1.7). Обумовлюється це високою вартістю газу, коли сушіння зерна стає досить витратним елементом технології. Тому попит мають гібриди, збиральна вологість яких є незначною (на рівні 13–14%), або гібриди, які мають швидку вологовіддачу, але при цьому формують високий потенціал продуктивності [60].



Рис. 1.7. Сучасні вимоги аграріїв до гібридного складу кукурудзи [60]

Державний реєстр сортів рослин, придатних до поширення в Україні, станом на 24 квітня 2024 р. налічує 1682 сортів і гібридів кукурудзи, в основному гібридів кукурудзи звичайної (1535 шт. або 91,3% від загального асортименту кукурудзи) (рис. 1.8). Кукурудза цукрова налічує 131 гібрид (7,8%), восковидна – 10 (0,59%), розлусна – 6 гібридів (0,36%).

Основний асортимент представлено сучасними сортами і гібридами. Так, у 2019 р. Держреєстр поповнено на 176 сортів і гібридів (10% від загальної кількості), 2020 р. – 188 (11%), 2021 – 196 (12%), 2022 р. – 136 (8%), 2023 р. – 251 (15%), 2024 р. – 43 (3% станом на 24.04.2024 р.) (рис. 1.9). Тобто, з 2019 р. до Держреєстру внесено 990 сортів і гібридів або 59% від загального асортименту кукурудзи.

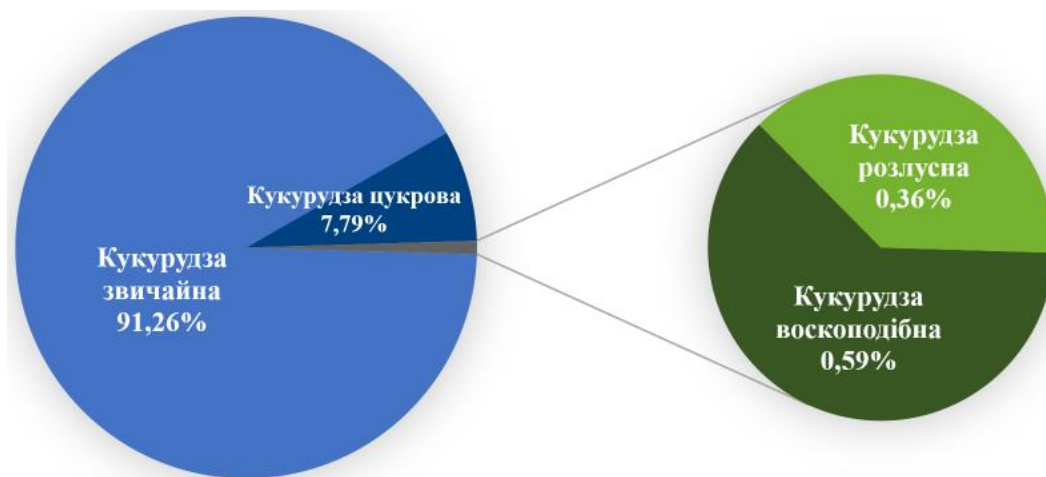


Рис. 1.8. Частка підвидів кукурудзи в Державному реєстрі сортів рослин, придатних до поширення в Україні, станом на 24.04.2024 р.

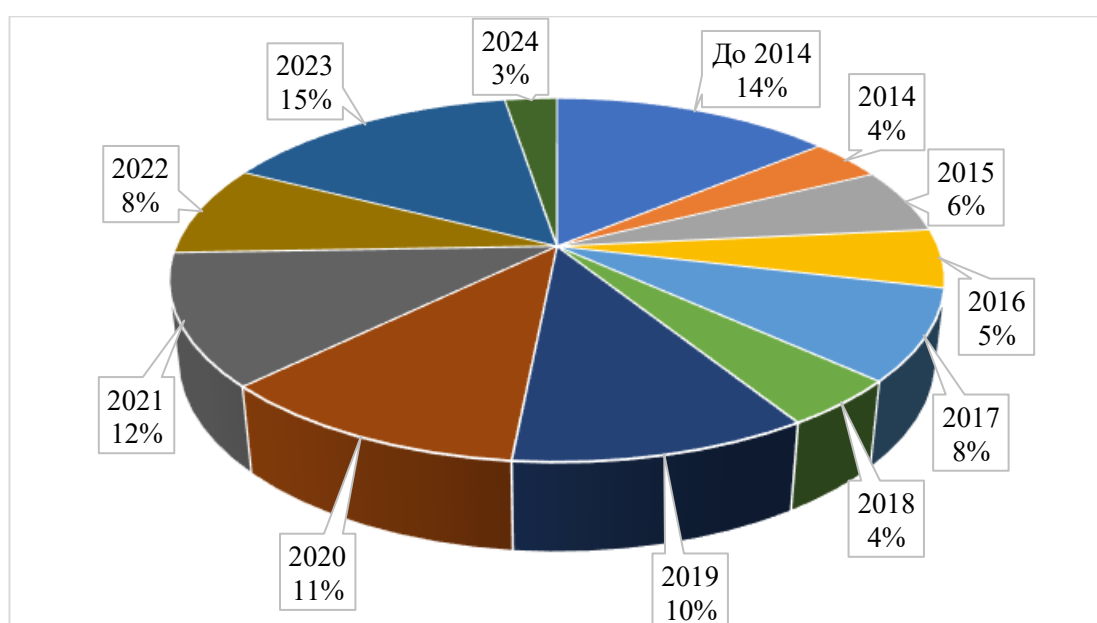


Рис. 1.9. Частка сортів і гібридів кукурудзи за роками внесення до Державного реєстру сортів рослин, придатних до поширення в Україні, станом на 24.04.2024 р.

Залежно від батьківських форм розрізняють міжсортіві, сортолінійні та міжлінійні гібриди. У виробничих умовах використовують, в основному, гібриди, отримані при схрещуванні самозапиляних ліній. За рахунок гетерозису гібриди на 25–30% більш урожайні, ніж сорти. Максимальний приріст урожайності формують гібриди першого покоління. При подальшому вирощуванні виникає загроза зниження ефекту гетерозису [70].

Міжнародна організація з питань продовольства та сільського господарства при ООН Food and Agriculture Organization (FAO) для можливості порівнювати скоростиглість гібридів різних країн світу запропонувала єдину систему класифікації генофонду кукурудзи (табл. 1.3).

Таблиця 1.3

Класифікація гібридів кукурудзи за групами стиглості (ФАО) [126]

Група стиглості	Кількість листків	Веgetаційний період, діб	Сума активних температур, °C	Група стиглості за ФАО
Дуже ранньостиглі	До 11	85	2100	100–149
Ранньостиглі	12–14	90–100	2200	150–199
Середньоранні	15–16	105–115	2400	200–299
Середньостиглі	17–18	115–120	2600	300–399
Середньопізні	19–20	120–130	2800	400–499
Пізнньостиглі	21–23	135–140	3000	500–599
Дуже пізнньостиглі	більше 23	145–150	більше 3000	більше 600

Переважає більшість гібридів кукурудзи у Державному реєстрі сортів рослин, придатних до поширення в Україні, відноситься до середньоранньої і середньостиглої груп ФАО – 45,7 і 39,2% від загальної кількості (рис. 1.10). Частка середньопізніх гібридів становить 7,7%, ранньостиглих – 6,9%, пізнньостиглих – 0,5%.

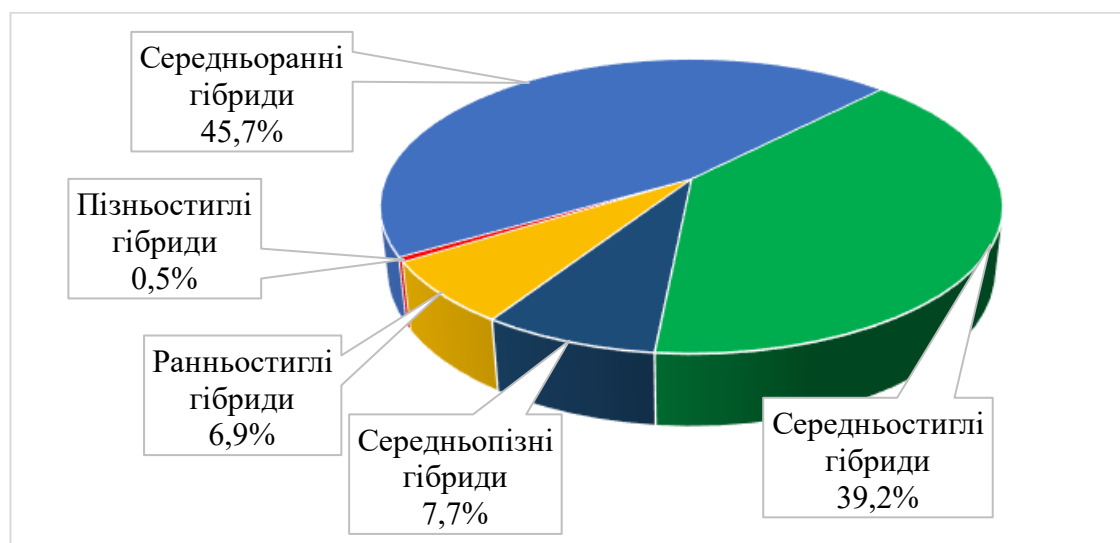


Рис. 1.10. Частка гібридів різних груп стиглості у Державному реєстрі сортів рослин, придатних до поширення в Україні, станом на 24.04.2024 р.

Віддаючи перевагу тому чи іншому гібриду кукурудзи, потрібно обов’язково враховувати його біологічний потенціал та ґрунтово-кліматичні умови зони вирощування. Рекомендованими зонами вирощування гібридів кукурудзи відповідно до Державного реєстру, якщо аналіз проводити саме за конкретними зонами, в основному є Степова і Лісостепова – відповідно 19 і 14% від загального асортименту (рис. 1.11). На зону Полісся припадає лише 2%. Високопластичних гібридів, добре адаптованих до вирощування у будь-якій агроґрунтовій зоні України, у Державному реєстрі 33%.

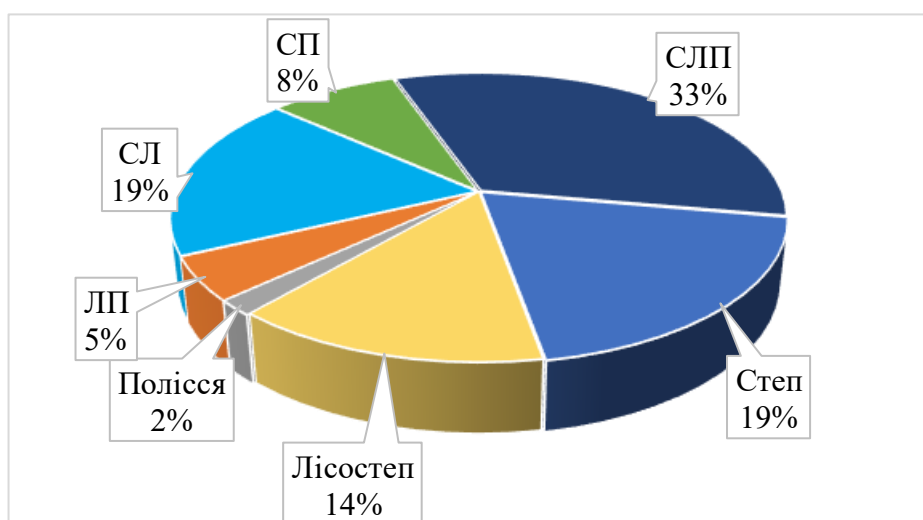


Рис. 1.11. Рекомендовані зони вирощування сортів і гібридів кукурудзи у Державному реєстрі сортів рослин, придатних до поширення в Україні, станом на 24.04.2024 р.

Наслідки вирощування гібридів з меншим або більшим ФАО, ніж рекомендовано для конкретної зони, демонструє рис. 1.12.

Майже половину (44,2%) сортів і гібридів кукурудзи, представлених у Державному реєстрі, складають сорти і гібриди вітчизняної селекції, що свідчить про високий рівень селекційної діяльності в Україні з цією культурою (рис. 1.13). Проте, серед аграріїв поширений стереотип, що гібриди української селекції менш якісні, ніж іноземні, і тому їх часто висівають на менш родючих ґрунтах із внесенням мінімальної кількості добрив. Як результат – урожайність формується, дійсно, невисокою. Одночасно, вчені Всеукраїнського наукового інституту селекції (вітчизняного лідера серед виробників насіння кукурудзи)

доводять, що вітчизняні сорти і гібриди мають якісні характеристики, аналогічні до іноземних, у тому числі й такий важливий для аграріїв показник, як вологовіддача. За рівнем вологості зерна на час збирання вітчизняні сорти і гібриди кукурудзи не поступаються іноземним [81].

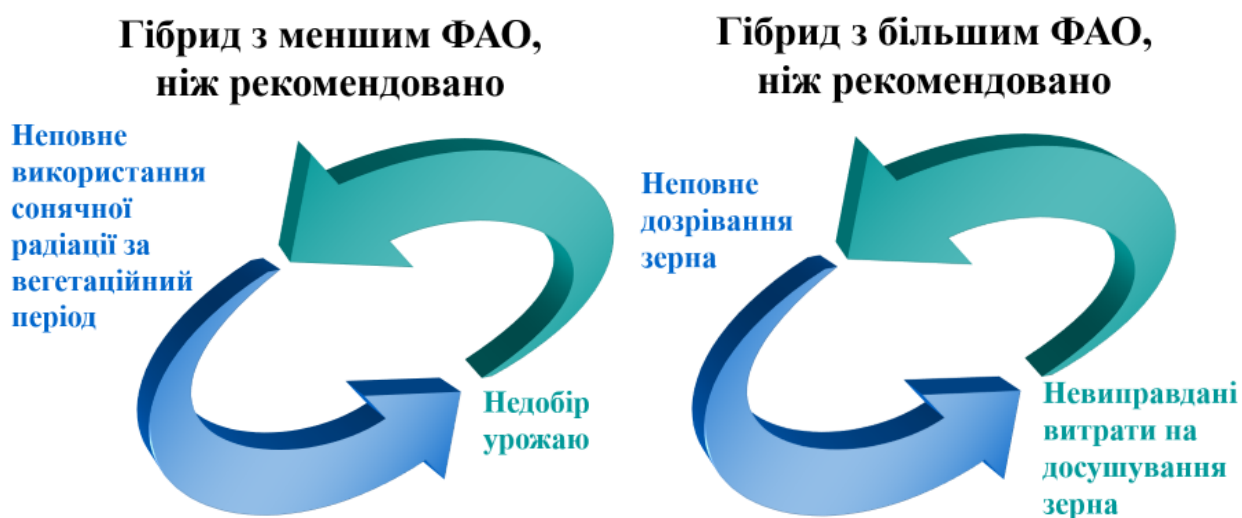


Рис. 1.12. Наслідки вирощування гібридів з меншим або більшим ФАО, ніж рекомендовано

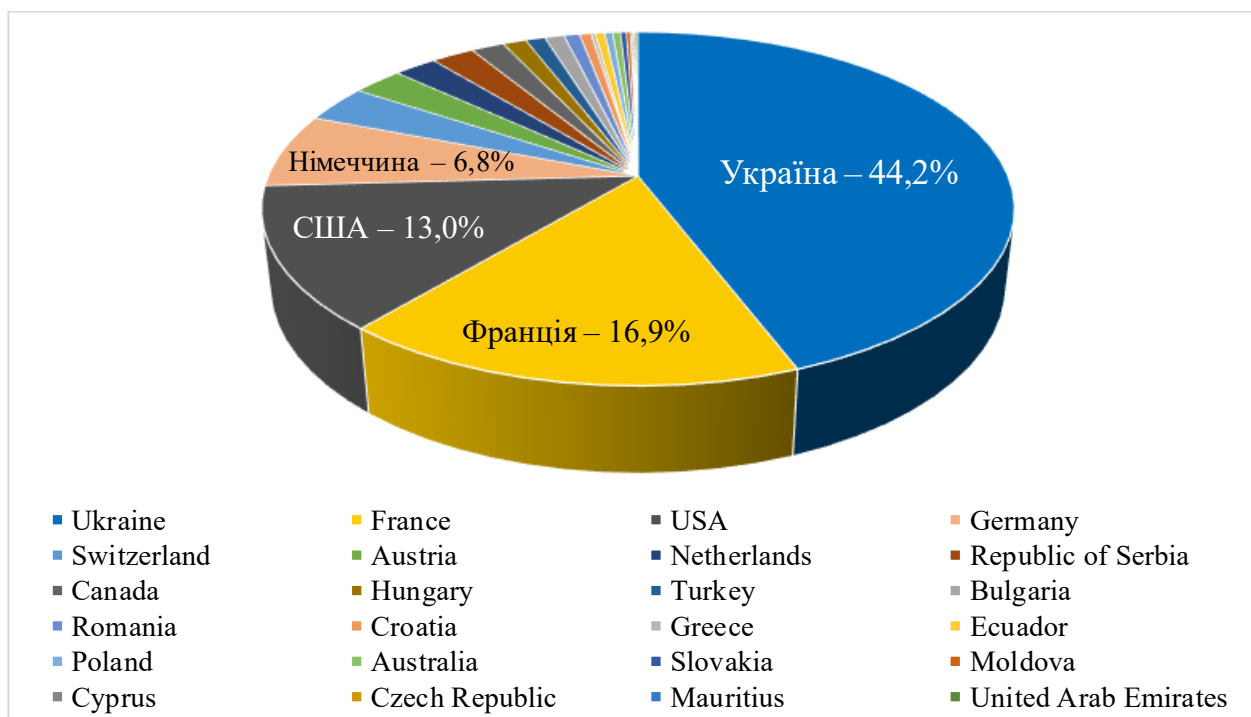


Рис. 1.13. Частка країн-оригіноваторів сортів і гібридів кукурудзи у Державному реєстрі сортів рослин, придатних до поширення в Україні станом на 24.04.2024 р.

На іноземні сорти і гібриди кукурудзи у Державному реєстрі припадає 55,8%. Лідером іноземної селекції кукурудзи в Україні є Франція. На сорти і гібриди французької селекції у Державному реєстрі припадає 16,9%. Їх в Україні представляють такі провідні компанії світу, як: Syngenta Seeds S.A.S., Limagrain Europe, Clause, Euralis Semences, Maisadour Semences, Cussade Semences S A, SAS Florimond Desprez Veuve et Fils, Sakata vegetables Europe S.A.S., Vilmorin S.A., R2n та ін.

Друге місце в Україні серед сортів і гібридів кукурудзи іноземної селекції припадає на США – 13,0% від загальної кількості сортів і гібридів у Державному реєстрі. Це такі провідні компанії, як: Monsanto technology LLC, Lark Seeds International, Harris Moran Seed Company, Ekland Marketin Co. of California, Inc., Hollar Seeds, Florida Foundation Seed Producers Inc., Board of Trustees Operating Michigan State University та ін.

Частка сортів і гібридів кукурудзи німецької селекції у Державному реєстрі сортів рослин, придатних до поширення в Україні, становить 6,8%. Даний асортимент представляють такі компанії, як: Bayer CropScience AG, KWS SAAT AG, Rijk Zwaan Welver GmbH, Saaten-Union GmbH, Norddeutsche Pflanzenzucht Hans-Georg Lembke KG, Europlant Pflanzenzucht GmbH, Deutsche Saatveredelung AG та ін.

Отже, економічно ефективним та обґрунтованим способом підвищення продуктивності кукурудзи та збільшення обсягів зерновиробництва є добір оптимального гібридного складу культури. Сучасний асортимент сортів і гібридів кукурудзи вражає своєю різноманітністю – від групи ФАО, висоти рослин, стійкості до посухи, хвороб і шкідників до реакції на різноманітні агротехнічні заходи. Добір гібридів має враховувати ґрунтово-кліматичні умови регіону, агротехнологію вирощування та рівень ресурсного забезпечення господарства [12, 13, 17, 19, 22, 108, 116, 121]. Проте, нові біотики кукурудзи мало вивчені і потребують глибокого наукового дослідження для забезпечення максимальної ефективності їх використання у виробничих умовах. Лише за умови системного підходу до вивчення адаптивного потенціалу нових гібридів

можна досягти стабільного підвищення врожайності та покращення показників якості зерна.

1.3. Вплив густоти стояння рослин на зернову продуктивність кукурудзи

Густота стояння рослин є одним із основних елементів технології вирощування кукурудзи на зерно, що безпосередньо впливає як на рівень урожайності, так і на якість продукції. Оптимальна щільність посівів забезпечує найкраще використання площі живлення, світлових, водних і поживних ресурсів, сприяючи повноцінному формуванню генеративних органів та накопиченню сухих речовин [7, 91, 130, 249].

У дослідженнях, проведених на південному заході Сполучених Штатів [164], встановлено, що за густоти стояння рослин 88 тис./га досягається оптимальне співвідношення між урожайністю зерна кукурудзи та використанням водних ресурсів, що сприяє формуванню генеративних органів і накопиченню сухих речовин у зерні. Китайські дослідники [274] зазначають, що збільшення густоти посіву активізує засвоєння світла фотосинтезуючими органами рослин та розвиток фотосинтетичної поверхні, але за надмірної щільності зростає конкуренція між рослинами, що призводить до погіршення показників якості зерна.

За результатами досліджень, проведених з кукурудзою в ґрунтово-кліматичних умовах Сардинії (Італія) [148], встановлено, що густота стояння рослин одночасно із обґрунтованою шириною міжрядь впливає на засвоєння рослинами світла, води і поживних речовин, що прямо пропорційно корелює з формуванням генеративних органів і масою зерна.

За даними польових досліджень [178], збільшення густоти стояння рослин кукурудзи до певної межі сприяє підвищенню врожайності за рахунок зростання кількості продуктивних пагонів рослин на одиниці площі. Проте після досягнення критичної межі (як правило, 75–85 тис. рослин/га залежно від

гібриду та умов вирощування), врожайність або стабілізується, або починає знижуватися через посилену конкуренцію рослин за світло, вологу та елементи мінерального живлення. Так, у дослідженнях Marchão et al. [212] встановлено, що за густоти понад 84 тис./га досягається максимум врожайності, а подальше загущення посівів призводить до зниження врожайності через небажані ефекти конкуренції (зменшення інтенсивності фотосинтезу, стерильність та зниження кількості зерен у качані).

Китайські дослідники [264] проаналізували результати польових досліджень за 2017–2020 рр. та дані з наукових джерел і визначили оптимальну густоту стояння рослин кукурудзи на рівні ~72500 рослин/га, причому за щільності посівів понад 112500 рослин/га вони відзначають суттєве зниження рівня врожайності.

Українські науковці [82] зазначають, що у зріджених посівах кукурудзи рослини не повною мірою використовують вологу і поживні речовини із ґрунту, що призводить до зниження врожайності. У загущених посівах зростає ймовірність формування неповноцінних качанів, зменшується кількість зерен у качані, їх маса та вміст поживних речовин, зростає ймовірність ураження фузаріозом, диплодіозом, кукурудзяним метеликом – найбільш шкодочинним для посівів кукурудзи у Північному Степу України [110].

Оптимальна густота стояння рослин залежить від низки чинників: біологічних особливостей гібриду (тривалості вегетації, висоти рослин, здатності до компенсації), типу ґрунту, рівня мінерального живлення, гідротермічного режиму та загального агрофону (рис. 1.14) [163].

Щільність посівів кукурудзи є важливим фактором, який впливає на ефективність використання ґрунтової родючості, тепла та вологи, а також надходження світлової енергії у посіви. Особливості реагування гібридів різних груп стиглості на зміну густоти стояння рослин відрізняються та потребують індивідуального підходу при визначенні оптимальних параметрів з урахуванням конкретних агроекологічних умов. Урожайність гібридів різних груп стиглості найбільш повно реалізується за адаптованої до їх біології

густоти стояння. У виробничих умовах України рекомендовані густоти рослин перед збиранням врожаю варіюють у межах 40–80 тис./га, а для ранньостиглих форм можуть досягати 85–90 тис./га і більше (табл. 1.4). Оптимальні значення щільності посівів не є постійними і змінюються залежно від погодних умов конкретного року, зокрема вологості у другій половині вегетації, коли потреба рослин у воді значно зростає. Зі збільшенням густоти посіву спостерігається зростання загальної площі листової поверхні, що, в свою чергу, впливає на рівень засвоєння фотосинтетично активної радіації [24].



Рис. 1.14. Фактори, які впливають на густоту стояння рослин [163]

Таблиця 1.4

**Рекомендована густота стояння рослин гібридів кукурудзи
різних груп стиглості, тис. шт./га [24]**

Зони України	Група стиглості гібридів			
	ранньо-стигла	середньо-рання	середньо-стигла	середньопізня і пізньостигла
Полісся	75–85	65–75	55–70	–
Закарпатська низовина	–	70–75	65–70	55–60
Центральний і Північний Лісостеп	60–80	55–75	45–65	–
Західний Лісостеп	75–85	65–75	55–70	–
Степ	–	40–50	35–45	40–45
Придністровська зона (Чернівецька та Івано-Франківська області)	60–70	60–65	55–60	50–55

У регіонах із нестабільним зволоженням або з дефіцитом вологи в період цвітіння та наливу зерна, зниження густоти посіву забезпечує краще використання вологи, кращу аерацію листкового апарату, зменшення самозатінення та стресових реакцій рослин [175, 196, 203, 249]. Так, наприклад, у ґрунтово-кліматичних умовах Китаю було встановлено, що зниження щільності посівів зі 105 до 45 тис. рослин/га сприяло збільшенню маси 1000 зерен, вмісту у зерні кукурудзи сирого протеїну та сирого жиру [274].

Дослідження [208, 288] обґрунтовують, що оптимальна густота стояння рослин забезпечує баланс між засвоєнням світла, ефективним фотосинтезом і мінімальними стресовими реакціями рослин, чим обґрунтовується її значення у технології вирощування кукурудзи. Водночас, занадто висока густота посіву створює умови взаємного затінення рослин, призводить до зниження фотосинтетичної активності (P_n , g_s , хлорофіл), а також пришвидшує старіння нижніх листків, що негативно позначається на накопиченні асимілянтів та загальній продуктивності кукурудзи. Так, Li та ін. [200] зазначають, що збільшення щільності посівів прискорює старіння нижніх листків рослин кукурудзи, знижує вміст хлорофілу та чисту продуктивність фотосинтезу. Результати досліджень Wu та ін. [275] показали, що зі зростанням густоти стояння рослин інтенсивність фотосинтетично активного випромінювання у посівах кукурудзи істотно знижувалася, що супроводжувалося уповільненням процесів фотосинтезу, зниженням аерації та інтенсивності транспірації у листках як верхнього, так і нижнього ярусів. У результаті порушення рівномірності світлового середовища активізувалися процеси старіння листків нижнього ярусу, що негативно вплинуло на загальний фотосинтетичний потенціал посіву. Аналогічні результати досліджень підтверджують й інші науковці [163, 197, 290].

Сучасні адаптивні технології вирощування кукурудзи передбачають гнучке регулювання густоти стояння залежно від конкретного гібриду, погодних умов вегетації та технологічного забезпечення господарства [269]. Окрім того, широке впровадження точного землеробства дозволяє варіювати

густоту посіву в межах одного поля відповідно до зональної родючості ґрунтів та потенціалу зволоження [234].

Отже, оптимальна густота стояння рослин є так званим «компромісом» між кількістю рослин на одиниці площі та їх продуктивністю, що забезпечує максимізацію врожайності, тоді як загущення посівів понад оптимальні параметри призводить до погіршення ростових процесів, зниження продуктивності та загальної ефективності вирощування культури.

1.4. Агробіологічне обґрунтування впливу мікродобрив на формування зернової продуктивності кукурудзи

Післявоєнне відновлення аграрного сектору України потребує впровадження високоефективних, екологічно безпечних і ресурсозберігаючих технологій, здатних забезпечити стабільність виробництва продовольства та відновити родючість ґрунтів. Актуальність дослідження щодо ефективності підживлення кукурудзи мікродобривами зумовлена потребою у підвищенні рівня врожайності її зерна за одночасного зменшення антропогенного навантаження на ґрунти і довкілля. В умовах сучасного землекористування на порушених та збіднених ґрунтах, дефіциту традиційних добрив, особливо органічних, та зниження загального рівня інтенсифікації, мікродобрива стають важливим елементом в рекомендованих системах удобрення. Вони сприяють оптимізації живлення рослин, підвищенню їх стійкості до абіотичних стресів та ефективного використання основних елементів живлення [86, 107, 119, 235].

З огляду на потребу сталого розвитку сільськогосподарського виробництва та інтеграції принципів «зеленої» економіки, дослідження ефективності застосування мікродобрив у технологіях вирощування кукурудзи набуває особливого значення на збіднених та деградованих ґрунтах [198].

Однією з основних переваг мікродобрив є їх здатність зміцнювати імунну систему рослин та підвищувати її адаптаційні можливості до різних стресових чинників (рис. 1.15). У сучасному землеробстві продуктивність кукурудзи часто

обмежує дія таких негативних факторів, як посуха, надмірна вологість, різкі коливання температури, дефіцит або надлишок окремих елементів у ґрунті, а також хвороби і шкідники. Мікроелементи, зокрема бор, цинк, мідь, залізо, мають важливе значення для формування ферментативної системи та антиоксидантного захисту клітин рослин кукурудзи. Вони активують внутрішні механізми стресостійкості, знижують накопичення токсичних сполук у тканинах, стабілізують обмін речовин, підтримують фотосинтетичну активність, навіть за несприятливих умов середовища. В результаті рослини краще вегетують у критичні періоди росту, швидше відновлюються після стресових ситуацій та забезпечують формування якісного врожаю. Це особливо важливо у зв'язку з нестабільними кліматичними умовами та обмеженнями на використання хімічних засобів захисту рослин [77].



Рис. 1.15. Значення мікродобрів у технології вирощування кукурудзи

Мікродобрива сприяють кращому засвоєнню елементів живлення, активізують фізіологічні процеси та забезпечують оптимальне протікання вегетації рослин кукурудзи на всіх етапах росту й розвитку, в результаті чого зростає врожайність культури. Окрім впливу на рівень урожайності, мікродобрива здатні істотно покращити якість зерна. Завдяки забезпеченню рослин необхідними мікроелементами оптимізуються всі фізіологічні процеси,

пов'язані з формуванням зерна. Зокрема, бор сприяє рівномірному запиленню та запобігає пустозерності, цинк підвищує вміст білка в зерні, а мідь та залізо стимулюють процеси синтезу вуглеводів і білків. Завдяки збалансованому живленню рослин зерно формується більш вирівняним за розміром, з більшою масою 1000 зерен, краще зберігається [193, 242, 262].

За результатами наукових досліджень обґрунтовано позитивний вплив мікродобрив на врожайність та якість зерна кукурудзи. Зокрема, у дослідженнях, проведених на темно-сірому опідзоленому ґрунті Лівобережного Лісостепу України, встановлено, що застосування мікродобрив позитивно позначилося на продуктивності кукурудзи. Позакореневі підживлення водорозчинними мікродобривами «Нутрімікс», «Нутрібор» і «Мікро-Мінераліс» на фоні основного мінерального удобрення ($N_{158}P_{52}K_{52}$) сприяли суттєвому підвищенню врожайності та покращенню основних показників якості зерна [37].

Високу ефективність позакореневих підживлень мікродобривами визначено і за результатами досліджень із середньостиглими гібридами кукурудзи в умовах Центрального Лісостепу України. Зокрема, встановлено, що мікроелементи, завдяки швидкому поглинанню через листову поверхню, активно включаються в обмінні процеси, покращують метаболізм і стимулюють розвиток рослин. Мікродобрива «Авангард Р Кукурудза» та «Мікро-Мінераліс», у поєднанні з КАС, сприяли суттєвому покращенню біометричних показників кукурудзи та підвищенню рівня її врожайності [66].

Мікроелементи, зокрема Zn, Fe, Mn і B, беруть участь у коферментативних процесах, активізують ферменти азотного обміну (NR, GS), регулюють фотосинтез, транспірацію, антиоксидантні системи і транспорт асимілятів [280]. Мідь, марганець і залізо є складовими фотосинтетичних комплексів і структур хлоропластів [100, 283].

Дефіцит цинку в ґрунтах є актуальною проблемою для агроєкосистем. Кукурудза характеризується високою чутливістю до нестачі цього елемента, водночас її реакція на цинкові добрива залишається варіативною, що зумовлює

суперечливість літературних даних. Метааналіз, проведений на основі рецензованих джерел з Web of Science та Google Scholar, узагальнив інформацію щодо впливу цинкових добрив на врожайність і вміст Zn у зерні кукурудзи. Встановлено, що внесення цинку забезпечує підвищення урожайності на 17% (до 1 т/га) і вмісту цинку в зерні на 25% (до 7,19 мг/кг), хоча зазначені показники залишаються нижчими за цільовий рівень 38 мг/кг, необхідний для подолання «прихованого голоду». Значна гетерогенність результатів та наявність публікаційної упередженості свідчать про потребу подальших досліджень. Потенційно перспективними вважаються інноваційні підходи: застосування цинку в наноформі, позакореневі підживлення, оптимізація строків внесення, прецизійне та мікродозоване удобрення [220].

Польовий дослід з агрономічного біозбагачення кукурудзи цинком та залізом передбачав 16 варіантів комбінованого використання мікродобрив. Досліджували три фактори: обробку насіння (без обробки та обробка Zn і Fe по 1%), внесення в ґрунт (без внесення, застосування ZnSO_4 і FeSO_4 по 25 кг/га, а також внесення органічного добрива FYM з даними мікроелементами у дозах 15 та 25 кг/га), а також позакореневе підживлення на 45-й день після сівби (відсутність і обприскування ZnSO_4 і FeSO_4 по 0,5%). Найвищі рівні врожайності зерна (78,5 ц/га) та біомаси (106,4 ц/га) було отримано за поєднання трьох методів: обробки насіння, внесення в ґрунт FYM у дозі 15 кг/га ZnSO_4 і FeSO_4 , та позакореневого підживлення. У даному варіанті досліді також визначено високі морфометричні показники качанів (довжина, маса, кількість зерен), а також кращі параметри росту рослин: висота, індекс листової поверхні, рівень хлорофілу (SPAD) та накопичення сухих речовин. Аналогічну ефективність забезпечила комбінація з внесенням FYM у дозі 25 кг/га. Отримані результати свідчать про ефективність інтегрованого підходу до мікроелементного живлення кукурудзи [193].

Позакореневе внесення мікродобрив сприяє збагаченню листового апарату мікроелементами та стимулює перерозподіл асимілятів на користь генеративних органів. Підживлення посівів кукурудзи магнієвими добривами

покращує газообмінні процеси (фотосинтез, продихову провідність, активність Rubisco), водний режим та антиоксидантний захист, що позитивно позначається на продуктивності культури. За результатами досліджень встановлено, що позакореневе внесення Mg підвищувало ефективність фотосинтезу та сприяло накопиченню цукрів у листках до фази наливу зерна, зменшуючи при цьому транспірацію та концентрацію CO₂. Окрім того, покращення антиоксидантної активності знижувало негативний вплив стресових чинників тропічних умов. Отримані результати підтверджують перспективність позакореневого внесення магнію як ефективного елементу технології вирощування кукурудзи [245].

Потреба кукурудзи в мікроелементах залежить безпосередньо від самого елементу та фази розвитку культури. За результатами п'яти польових дослідів, проведених у штаті Небраска (США), встановлено, що позакореневе підживлення Mn сприяло підвищенню врожайності на 19%, тоді як надмірні норми внесення Zn викликали токсичність та призводили до зниження врожайності. Лише внесення Fe забезпечило стабільний позитивний ефект (підвищення врожайності на 14,6%) незалежно від терміну застосування. Транслокація більшості мікроелементів була обмеженою, за винятком бору, внесення якого на ранніх етапах органогенезу забезпечувало його переміщення до репродуктивних органів. ANR (Apparent Nutrient Recovery) – коефіцієнт відновлення поживних речовин, який відображає, яку частку внесених добрив фактично засвоїла рослина – найвищим був у Zn (16,9%), середнім – у Mn (9,5%) і низьким – у B (2,5%), тоді як сумісне внесення Fe/Zn демонструвало негативні значення, що вказує на можливі антагоністичні взаємодії. Отримані результати підтверджують необхідність цілеспрямованого позакореневого підживлення лише за умов підтвердженого дефіциту, з урахуванням специфіки елементу та фази росту й розвитку рослин кукурудзи [262].

У посушливих умовах Індії фермери рідко застосовують мікроелементи, що призводить до дефіциту цинку, заліза та бору в ґрунтах. Через обмежену кількість вологи поживні речовини, внесені в ґрунт, слабо засвоюються рослинами. За таких обставин позакореневі підживлення мікроелементами

можуть покращити ефективність живлення, активізувати ростові процеси рослин та підвищити рівні врожайності кукурудзи. Польові дослідження в ґрунтово-кліматичних умовах Індії показали, що комбіноване позакореневе внесення Zn, Fe та B суттєво підвищує врожайність кукурудзи – на 17–25%. Зокрема, середній рівень урожайності за два роки досягав 6,85 т/га проти 5,66 т/га у контролі. Крім того, спостерігалось зростання валового та чистого прибутку, а також співвідношення витрат і доходів, що свідчить про економічну ефективність застосування зазначених мікроелементів у системі удобрення. Отже, поєднання основного удобрення з позакореневими підживленнями мікроелементами виявилось результативною стратегією для підвищення продуктивності кукурудзи в умовах нестачі вологи [239].

У польовому досліді вивчали вплив позакорневих підживлень посівів різними формами цинку (ZnO наночастинки, хітозанові комплекси Zn, ZnSO₄) та коктейльного розчину (Zn, Fe, Se, N) на вміст мікроелементів у зерні кукурудзи. Найвищу ефективність у підвищенні концентрації Zn у зерні показав ZnSO₄ у комбінації з сечовиною. Позакореневе підживлення коктейльним розчином забезпечило одночасне зростання концентрацій Zn, Fe, Se та азоту, не знижуючи при цьому рівень урожайності. Наприклад, концентрація Zn у зерні зросла з 13,8 до 22,1 мг/кг, Fe – з 17,2 до 22,1 мг/кг, а Se – з 21,4 до 413,5 мкг/кг. Найбільше зростання вмісту елементів у зерні спостерігали у сорту з найменшою врожайністю, що свідчить про обернену залежність між урожайністю та вмістом мікроелементів. Крім того, коктейльне підживлення знижувало вміст фітинової кислоти і покращувало біодоступність Zn і Fe [277].

Інтеграція мікродобрив у технології вирощування кукурудзи є важливим напрямом удосконалення агротехнічних заходів, спрямованим на підвищення ефективності живлення рослин. Вона забезпечує реалізацію генетичного потенціалу культури за рахунок покращення фізіолого-біохімічних процесів, що позитивно впливає на врожайність та якість урожаю (рис. 1.16) [140, 291].

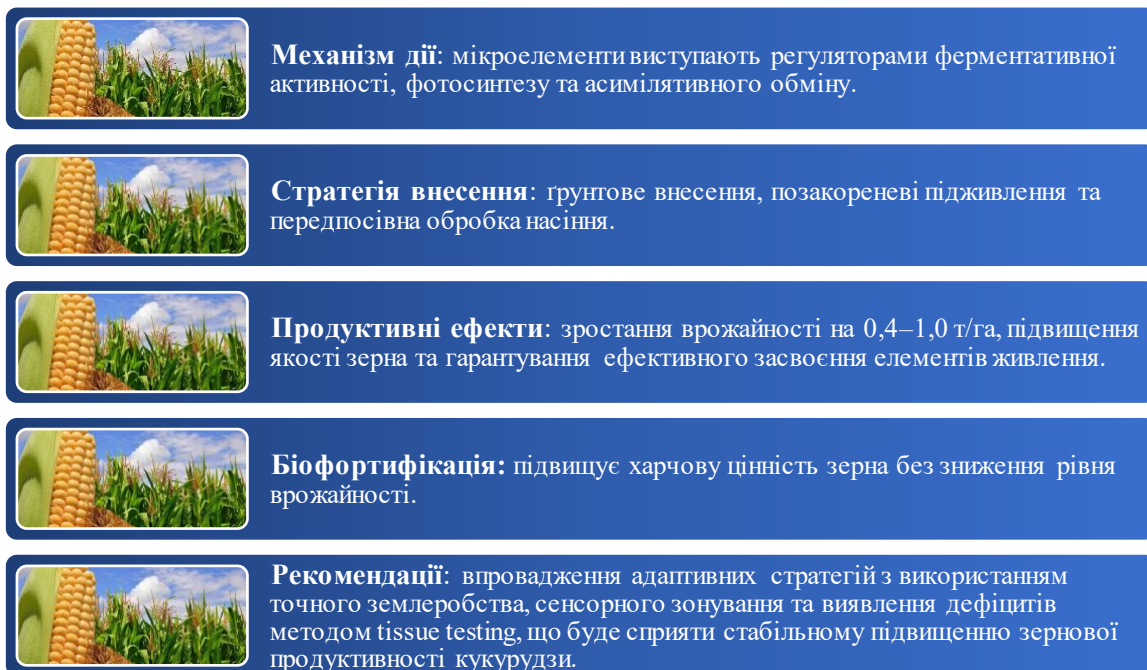


Рис. 1.16. Інтеграція мікродобрив у технології вирощування кукурудзи

Переваги та обмеження щодо проведення позакореневих підживлень демонструє рис. 1.17.



Рис. 1.17. Переваги та обмеження щодо проведення позакореневих підживлень

У табл. 1.5 наведено інформацію щодо оптимальних фаз росту й розвитку рослин кукурудзи для проведення позакореневих підживлень мікродобривами, з урахуванням їх фізіологічного значення та потреб рослин на різних етапах вегетації [262, 263, 266].

Однією з найвагоміших причин використання мікродобрив у технологіях вирощування кукурудзи є їх висока економічна ефективність та заощадження ресурсів. Попри те, що мікродобрива є хоч і незначно, але витратним

елементом, їх застосування здатне істотно підвищити рівень рентабельності. Це досягається завдяки комплексному ефекту: зростанню врожайності, покращенню якості зерна, зниженню ризиків, пов'язаних із впливом несприятливих погодних умов, та оптимізації загальної системи живлення рослин [143, 173, 261].

Таблиця 1.5

Критичні фази розвитку кукурудзи та обґрунтування застосування мікродобрих

Фаза розвитку	Процеси, які відбуваються в рослині	Рекомендовані мікроелементи	Мета підживлення
3–5 листків	Формування кореневої системи	Zn, B, Mn	Стимуляція коренеутворення, закладення репродуктивних органів
6–8 листків	Активний ріст, початок диференціації генеративних органів	Zn, Fe, Mg, Mn	Посилення фотосинтезу, формування качана, зниження впливу стресу
10–12 листків	Ріст листкової поверхні, формування качана	Mg, Fe, Mn, Cu	Покращення фотосинтезу, підвищення антиоксидантного захисту
Фаза викидання волоті	Пилкоутворення, запилення	B, Zn, Mg	Покращення запилення, підтримка метаболізму, запобігання деформації качана
Налив зерна	Накопичення сухих речовин у зерні	Mg, Zn, Fe	Забезпечення транспорту асимілянтів, підвищення вмісту протеїну та жиру в зерні

Важливим елементом сучасних агротехнологій вирощування кукурудзи є комплексне внесення макро- і мікродобрих, оскільки воно забезпечує збалансоване живлення рослин, сприяє повноцінному росту, розвитку та формуванню високоякісного врожаю [111, 112, 114]. Макроелементи (N, P, K) забезпечують основні потреби рослин в енергії, а мікроелементи (Zn, Fe, B, Mn тощо) відіграють важливе значення у ферментативній активності, фотосинтезі,

антиоксидантному захисті та підвищенні стійкості до стресів. Комплексне застосування макро- і мікродобрих дозволяє підвищити ефективність використання поживних речовин, покращити якість зерна і досягти високої економічної віддачі за вирощування кукурудзи [128, 138, 150].

Отже, мікродобрива є лише незначною складовою у загальних виробничих витратах, проте їх використання дозволяє значно підвищити рівень рентабельності завдяки зростанню врожайності та покращенню показників якості зерна. Позакореневі підживлення мікродобривами забезпечують швидке засвоєння та ефективне використання рослинами поживних елементів. Інтеграція макро- і мікродобрих створює збалансоване живлення рослин та забезпечує стабільність урожаю навіть за стресових умов. Застосування мікродобрих є стратегічно важливим елементом у формуванні ефективних, сталих та екологічно безпечних систем живлення кукурудзи в агроecosистемах України.

Висновки до розділу 1

1. У розділі наведено народногосподарське значення кукурудзи, проаналізовано сучасний стан виробництва кукурудзи на зерно в Україні, світі та провідних країнах-лідерах, висвітлено динаміку посівних площ, врожайності та обсягів валового збору. Виробництво зерна кукурудзи в Україні та світі засвідчує позитивну динаміку, яка характеризується зростанням рівня врожайності, розширенням сфер використання та значенням цієї культури у забезпеченні продовольчої та енергетичної безпеки. В умовах воєнних дій, політичної нестабільності, логістичних труднощів та залежності від імпорту кукурудза набуває особливого значення як високоенергетична і технологічна культура. Збільшення обсягів її виробництва в Україні сприятиме підвищенню економічної ефективності аграрного сектору та зміцненню продовольчої та енергетичної безпеки держави.

2. Дослідження нових сортів і гібридів кукурудзи є актуальним для збільшення продуктивності цієї стратегічно важливої культури, забезпечення

сталого зерновиробництва та досягнення високого економічного ефекту. Сучасні сорти і гібриди мають покращені генетичні характеристики, зокрема високу продуктивність, низьку збиральну вологість зерна, високу стійкість до хвороб і шкідників, адаптивність до різних ґрунтово-кліматичних умов тощо. Їх широке впровадження у виробничому процесі дозволить суттєво збільшити обсяги виробництва зерна та забезпечити сталий розвиток аграрного сектору України.

3. Густота стояння рослин є важливим елементом технології вирощування кукурудзи, який суттєво впливає на ріст, розвиток і продуктивність культури. Оптимальна щільність посівів забезпечує раціональне використання води, світла та елементів живлення, формування генеративних органів і накопичення сухих речовин у зерні. Результати численних досліджень засвідчують, що перевищення оптимальної межі густоти стояння призводить до загострення конкуренції між рослинами, порушення фотосинтетичних процесів, посилення стресових реакцій та погіршення кількісних і якісних характеристик урожаю. Ефективне управління густотою стояння рослин має враховувати біологічні особливості гібридів, гідротермічні умови вегетаційного періоду та рівень агротехнічного забезпечення господарств. У цьому контексті гнучкі адаптивні стратегії, зокрема технології точного землеробства, є перспективним напрямом для досягнення високої і стабільної зернової продуктивності кукурудзи.

4. Мікродобрива є важливою складовою сучасних технологій вирощування кукурудзи. Вони сприяють підвищенню врожайності та покращенню якості зерна, особливо в умовах деградованих ґрунтів і нестабільного клімату, активізують фізіолого-біохімічні процеси, покращують живлення рослин, посилюють стійкість до стресів та забезпечують більш ефективне використання макроелементів. Поєднання мікро- і мікродобрив підвищує рентабельність виробництва та дозволяє реалізувати потенціал культури навіть за обмежених ресурсів. З огляду на вимоги сталого землеробства, інтеграція мікродобрив у систему удобрення кукурудзи є доцільною та перспективною.

5. Результати численних досліджень засвідчують, що обґрунтований добір гібридів кукурудзи з урахуванням їх біологічних особливостей, оптимізація густоти стояння рослин відповідно до агроекологічних умов та позакореневі підживлення мікродобривами є важливими чинниками підвищення рівня врожайності та покращення показників якості зерна. Комплексне дослідження зазначених факторів дозволяє максимальною мірою реалізувати генетичний потенціал культури, забезпечити ефективне використання ресурсів і підвищити адаптивність агротехнологій до сучасних реалій сільськогосподарського виробництва.

Публікації за розділом 1

За розділом 1 опубліковано 2 статті у науковому фаховому виданні України категорії В та 3 тези за матеріалами доповідей на міжнародних науково-практичних конференціях:

1. Sydiakina O. V., **Hamula Ye. A.** Current range of corn hybrids in Ukraine: analysis and prospects. *Таврійський науковий вісник. Серія Сільськогосподарські науки*. 2024. № 137. С. 205–213. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.137.26> [265].

2. Сидякіна О. В., **Гамула Є. А.** Сучасний стан, проблеми та перспективи виробництва зерна кукурудзи. *Таврійський науковий вісник. Серія Сільськогосподарські науки*. 2025. № 144. С. 164–174. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.144.22> [109].

3. Сидякіна О. В., **Гамула Є. А.** Обґрунтований добір гібридів – запорука отримання високих і сталих урожаїв кукурудзи. *Наукові основи реалізації принципів кліматично орієнтованого сільського господарства в агросфері України* : збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених з нагоди Дня науки в Україні, 17 травня 2024 р. Одеса : Олді+, 2024. С. 95–96. URL: <http://dspace.ksaeu.kherson.ua/handle/123456789/9613> [108].

4. Сидякіна О. В., **Гамула Є. А.** Інтегрована система захисту кукурудзи від стеблового метелика в умовах Північного Степу України. *Ефективні системи захисту рослин як інструмент сталого розвитку аграрного сектору економіки та суспільства* : матеріали І Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої Дню науки в Україні, 16 травня 2025 р. Херсон-Кропивницький: ХДАЕУ, 2025. С. 52–56. URL: <http://dspace.ksaeu.kherson.ua/handle/123456789/10850> [110].

5. Сидякіна О. В., **Гамула Є. А.** Мікродобрива у технологіях вирощування кукурудзи як елемент екологоорієнтованого та ресурсозберігаючого землеробства. *Продовольча безпека України в умовах післявоєнного відновлення: глобальні та національні виміри. Міжнародний форум* : доповіді учасників Міжнародної науково-практичної конференції, 28–30 травня 2025 р. Миколаїв : МНАУ, 2025. С. 166–169. DOI: <https://doi.org/10.31521/978-617-7149-86-5-54>. URL: <http://dspace.ksaeu.kherson.ua/handle/123456789/10818?show=full> [107].

РОЗДІЛ 2

МІСЦЕ, УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Природно-географічне положення господарства та ґрунтово-екологічні умови проведення досліджень

Експериментальні дослідження із визначення впливу густоти стояння рослин та позакоренових підживлень мікродобривами на зернову продуктивність гібридів кукурудзи різних груп ФАО проводили впродовж 2022–2024 рр. на дослідному полі ТОВ АФ «Агротехнологія-Плюс», що знаходиться в Кропивницькому районі Кіровоградської області (48°24'54" пн. ш., 32°01'02" сх. д.). Територія проведення досліджень відноситься до підзони Північного Степу України, яка характеризується посушливим, дуже теплим кліматом [5].

Північний Степ України охоплює території, розташовані в межах центральної частини Степової зони, зокрема Кіровоградську, Дніпропетровську, Запорізьку, Полтавську та Харківську області. Для цієї природно-кліматичної зони характерні перехідні риси між Центральним Лісостепом і Південним Степом, що визначає специфіку її агрокліматичних умов [120].

Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем звичайний малогумусний глибокий – один із найцінніших підтипів чорноземів Степової зони України. Його агрономічна цінність обумовлена високою природною родючістю, добрими фізичними властивостями, збалансованим водно-повітряним режимом та сприятливою структурою [117].

Формування чорноземів звичайних відбувалося за впливу сукупності геологічних, кліматичних і біоценотичних факторів на лесах і лесоподібних суглинках, що робить ці ґрунти потужними, добре дренованими, збагаченими на мінеральні сполуки із високим вмістом карбонатів, сприяє процесам гумусоутворення та забезпечує високу природну родючість [192].

Материнські породи, на яких сформувалися чорноземи звичайні, представлені дрібноземними, високопористими, пухкими відкладеннями еолового походження, які накопичувалися протягом плейстоцену. Ці породи характеризуються значним вмістом карбонатів (переважно CaCO_3), що забезпечує високу буферну здатність та високу родючість чорноземних ґрунтів. Леси сприяють добрій дренажності та аерації ґрунтового профілю, що має важливе значення для розвитку корневих систем рослин та активності мікроорганізмів [161, 168].

Рівнинний або слабо хвилястий рельєф Степової зони сприяв рівномірному розподілу атмосферних опадів, мінімізував поверхневий стік та розвиток ерозійних процесів, дозволяючи органічній речовині акумулюватися у ґрунтовій товщі [125].

Важливе значення у формуванні чорноземів звичайних належить кліматичним факторам. Помірно-континентальний клімат, характерний для зони поширення чорноземів, з достатньою кількістю опадів, які здатні просочуватися в ґрунт, але не викликають сильного промивання, та періодами посухи, сприяє відмиранню значної кількості рослинної біомаси. Важливим є співвідношення тепла та вологи, що забезпечує інтенсивний ріст трав'янистої рослинності навесні та влітку, а також її розкладення у ґрунті. Значні сезонні коливання температур у зоні поширення чорноземів звичайних сприяють промерзанню ґрунту взимку, що фізично руйнує агрегати і перешкоджає інтенсивним процесам мінералізації органічної речовини, консервуючи її та сприяючи процесам гумусоутворення [132].

Домінуюча рослинність (багаторічні трав'янисті злаки та різнотрав'я) щорічно відмирає і залишає величезну кількість корневих решток у верхньому шарі ґрунту. Коренева біомаса трав є основним джерелом органічної речовини, що перетворюється на гумус. Завдяки розгалуженій кореневій системі, органічна речовина рівномірно розподіляється по гумусовому горизонту, надаючи йому характерного темного забарвлення [213].

Активна діяльність бактерій, грибів, актиноміцетів та ґрунтових

безхребетних (дощових черв'яків, комах) забезпечує інтенсивну трансформацію рослинних решток у стабільні гумусові сполуки. Дощові черв'яки, зокрема, відіграють важливе значення у перемішуванні шарів ґрунту та утворенні стійкої грудкувато-зернистої структури, яка є однією з найцінніших особливостей чорноземних ґрунтів. Така структура забезпечує оптимальний водно-повітряний режим та сприяє підвищенню родючості [122, 191].

Високий вміст карбонатів у материнській породі та ґрунтовому розчині забезпечує слаболужну або нейтральну реакцію, яка сприяє стабілізації гумусових речовин і запобігає їх швидкій мінералізації. Одночасно карбонати виконують функцію коагулянтів для гумусових кислот та сприяють утворенню складних гуматів кальцію, які є дуже стабільними і нерухомими у ґрунтовому профілі [11].

Завдяки балансу опадів та випаровування, а також високій буферній здатності карбонатів, у чорноземах звичайних не відбувається значного промивання кальцію та інших двохвалентних катіонів із верхніх горизонтів, що зберігає їх багатий мінеральний склад [137].

Таким чином, формування чорноземів звичайних відбувалося за унікального поєднання потужних лесових відкладів, сприятливого помірно-континентального клімату з чергуванням теплих, вологих і сухих періодів, а також домінування трав'янистої рослинності з інтенсивною біологічною активністю.

Реакція ґрунтового розчину (рН) чорноземів звичайних коливається в межах 6,5–7,4, що обумовлено високим вмістом карбонатів кальцію та насиченістю ґрунтового вбирного комплексу катіонами. Сума ввібраних основ у чорноземах звичайних є значно вищою, ніж у чорноземах південних, і варіює в межах від 35 до 70 мг.-екв./100 г ґрунту та більше. Такий ріаень показника свідчить про високу буферність та здатність цих ґрунтів акумулювати поживні речовини, які закріплені у ґрунтовій товщі і не вимиваються. Валові запаси азоту у чорноземах звичайних тісно корелюють з вмістом гумусу та потужністю гумусового горизонту. Залежно від конкретних умов та

інтенсивності технологій вирощування вміст валового азоту варіює у межах 0,25–0,45% і може бути навіть вищим у найбільш гумусованих відмінах. Щодо сполук фосфору та калію, чорноземи звичайні характеризуються доброю та дуже доброю забезпеченістю, що пояснюється високим вмістом мінеральних речовин у материнських породах та інтенсивними біохімічними процесами, що сприяють їх мобілізації. На відміну від чорноземів південних, чорноземи звичайні досить рідко мають ознаки солонцюватості, оскільки вміст натрію (Na^+) в них незначний і, зазвичай, не перевищує 0,1 мг.-екв./100 г ґрунту, що обґрунтовує їх сприятливий хімічний склад [131, 133].

Водно-фізичні властивості чорноземів звичайних є відмінними і вирізняються високим вмістом водостійких агрегатів (35–60% і більше) в орному шарі, що забезпечує оптимальну пористість, водопроникність, аерацію, висоту капілярного підйому, оптимальні умови для росту й розвитку корневих систем рослин та життєдіяльності ґрунтової мікрофлори, що, в свою чергу, є запорукою формування високих і стабільних рівнів урожайності [134].

Ґрунтовий профіль дослідного поля характеризується таким чергуванням генетичних горизонтів:

Н (0–39) – гумусно-аккумулятивний горизонт, темно-сірий, середньосуглинковий, пилювато-грудкуватої структури, пухкий, підорний зернистий з великою кількістю червоточин, багато копролітів, перехід поступовий;

Нр (39–83) – гумусно-перехідний (верхній перехідний) горизонт, темно-сірий з буруватим відтінком, середньосуглинковий, зернисто-грудкуватої структури, нещільний, червоточини, перехід поступовий;

РН (83–102) – горизонт гумусових затікань, сірувато-бурого забарвлення, середньосуглинковий, зернисто-горіхової структури, ущільнений, перехід поступовий;

Phk (102–118) – перехідний (нижній перехідний) горизонт, сіро-бурого забарвлення, горіхової структури, ущільнений, карбонатна цвіль, перехід поступовий;

РК (118–176) – карбонатний горизонт, бурувато-палевий, горіхуватої структури, багато карбонатів у вигляді білозірки, дутиків, журавчиків, перехід поступовий;

Рк↓176 – материнська порода – карбонатний лес, буро-палевого кольору з вицвітами карбонатів.

Згідно з класифікацією ґрунтів за гранулометричним складом [25, 99] ґрунт дослідних ділянок середньосуглинковий. Диференціація гранулометричного складу за генетичними горизонтами відсутня.

Водно-фізичні і фізико-хімічні властивості орного шару ґрунту дослідного поля наведено у таблиці 2.1. Щільність ґрунту за роками вирощування кукурудзи коливалася в межах 1,15–1,18 г/см³, що відповідно до оцінки щільності суглинкових і глинистих ґрунтів за Н. А. Качинським [4] відповідає типовим показникам для культурного свіже виораного ґрунту, тобто оптимальним показникам. Щільність твердої фази є типовою для чорноземів звичайних середньосуглинкових – 2,65–2,68 г/см³. Розрахований за щільністю і щільністю твердої фази ґрунту показник загальної шпаруватості для ґрунтових умов проведення досліджень становить 55–57%, що відповідно до оцінки шпаруватості ґрунтів за Н. А. Качинським [4] відповідає відмінній шпаруватості та окультуреному орному шару (55–65%).

Показники максимально-адсорбційної вологоємності, вологості в'янення, найменшої та капілярної вологоємності, які наведені у таблиці 2.1, відповідають типовим показникам для чорноземів звичайних.

Вміст гумусу в орному шарі становить 3,5–3,6%, тобто ґрунт дослідних ділянок є малогумусним. Реакція ґрунтового розчину нейтральна – рН = 6,9–7,0. Ємність катіонного обміну варіює в межах 42–50 мг.-екв. на 100 г ґрунту. Частка кальцію (Ca²⁺) у складі обмінно-ввібраних катіонів становить 28–35 мг.-екв./100 г ґрунту, магнію (Mg²⁺) – 8,2–9,8 мг.-екв./100 г ґрунту, натрію (Na⁺) – 0,1–0,2 мг.-екв./100 г ґрунту, калію (K⁺) – 1,6–1,9 мг.-екв./100 г. Це свідчить про те, що вбирний комплекс ґрунту в основному насичений катіонами кальцію та магнію.

**Агрофізичні та агрохімічні властивості орного шару ґрунту
дослідного поля**

Агрофізичні властивості		Агрохімічні властивості		
Показник	Значення показника	Показник	Значення показника	
Щільність ґрунту, г/см ³	1,15–1,18	Гумус, %	3,5–3,6	
Щільність твердої фази ґрунту, г/см ³	2,65–2,68	pH	6,9–7,0	
Максимально-адсорбційна вологоємність, %	7,5–8,2	Катіони ґрунтового вбирного комплексу, мг.-екв. на 100 г ґрунту	Ca ²⁺	28,0–35,0
Вологість в'янення, %	15,0–16,4		Mg ²⁺	8,2–9,8
Найменша вологоємність, %	37,5–41,0		Na ⁺	0,1–0,2
Капілярна вологоємність, %	42,5–46,0		K ⁺	1,6–1,9

Родючість ґрунту значною мірою залежить від його хімічного складу, який формується за впливу сукупної дії різноманітних природних і антропогенних чинників, а також їх комплексної взаємодії. Саме ці особливості безпосередньо обумовлюють рівень продуктивності культурних рослин [155, 195, 222, 233].

У деяких випадках встановлюється дефіцит окремих макро- або мікроелементів, які є необхідними для повноцінного росту й розвитку рослин [221, 224]. Водночас можлива акумуляція токсичних сполук, надмірна концентрація яких обумовлює розвиток небажаних ґрунтоутворних процесів, таких як засолення, осолонцювання тощо [229, 230, 258].

Відтак у процесі наукових досліджень обов'язковим є врахування хімічного складу ґрунту дослідних ділянок, характеристику яких узагальнено у таблиці 2.2.

Для забезпечення повноцінного росту і розвитку рослин необхідно створити сприятливі умови живлення, забезпечити оптимальні водний, тепловий і повітряний режими ґрунту, за потреби нейтралізувати реакцію ґрунтового розчину та інші фізико-хімічні властивості, оскільки ці чинники

суттєво впливають на рівень родючості ґрунту [272]. Саме тому важливе значення належить вмісту в ґрунті гумусу, макро- і мікроелементів, які забезпечують оптимальний ріст і розвиток рослин [179, 271].

Таблиця 2.2

**Валовий вміст оксидів у генетичних горизонтах ґрунту
дослідних ділянок, %**

Вміст оксидів	Генетичні горизонти					
	Н	Нр	РН	Phk	РК	Рк
SiO ₂	71,0	70,5	68,0	66,5	65,8	65,0
Fe ₂ O ₃	5,0	5,2	5,4	4,0	4,5	4,2
Al ₂ O ₃	14,2	14,5	13,8	13,2	13,0	12,8
CaO	2,5	2,8	8,5	10,0	9,5	9,0
MgO	1,8	2,0	1,9	2,2	2,1	2,0
Na ₂ O	0,7	0,9	0,6	0,6	0,5	0,5
MnO	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1
SiO ₂ :R ₂ O ₃	6,6	6,4	6,1	5,9	5,8	5,7

Розподіл гумусу в профілі ґрунту дослідних ділянок характеризується поступовим зниженням з глибиною генетичних горизонтів, що наочно демонструє рис. 2.1. Так, якщо у гумусно-аккумулятивному горизонті (Н) вміст гумусу становить 3,6%, то у карбонатному горизонті (РК) він знижується до 0,7%.

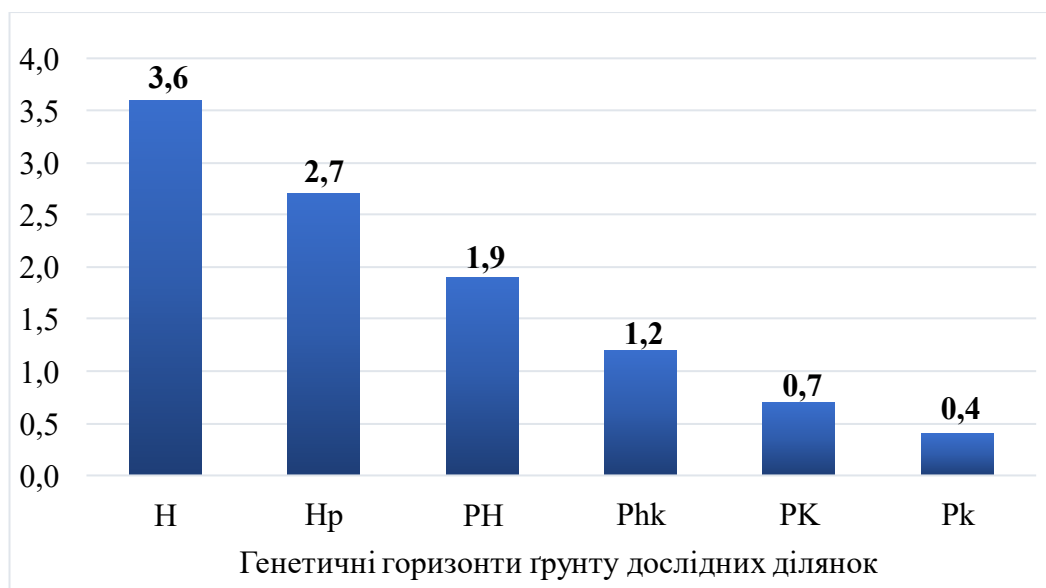


Рис. 2.1. Розподіл гумусу за генетичними горизонтами
ґрунту дослідних ділянок (метод І. В. Тюріна), %

Розподіл основних макроелементів по ґрунтовому профілю також демонструє тенденцію до зменшення з глибиною. Така закономірність стосується як загального азоту (визначеного за ДСТУ ISO 11261–2001), так і рухомого фосфору (за методикою В.І. Мачигіна, ДСТУ 4114–2002) (рис. 2.2).

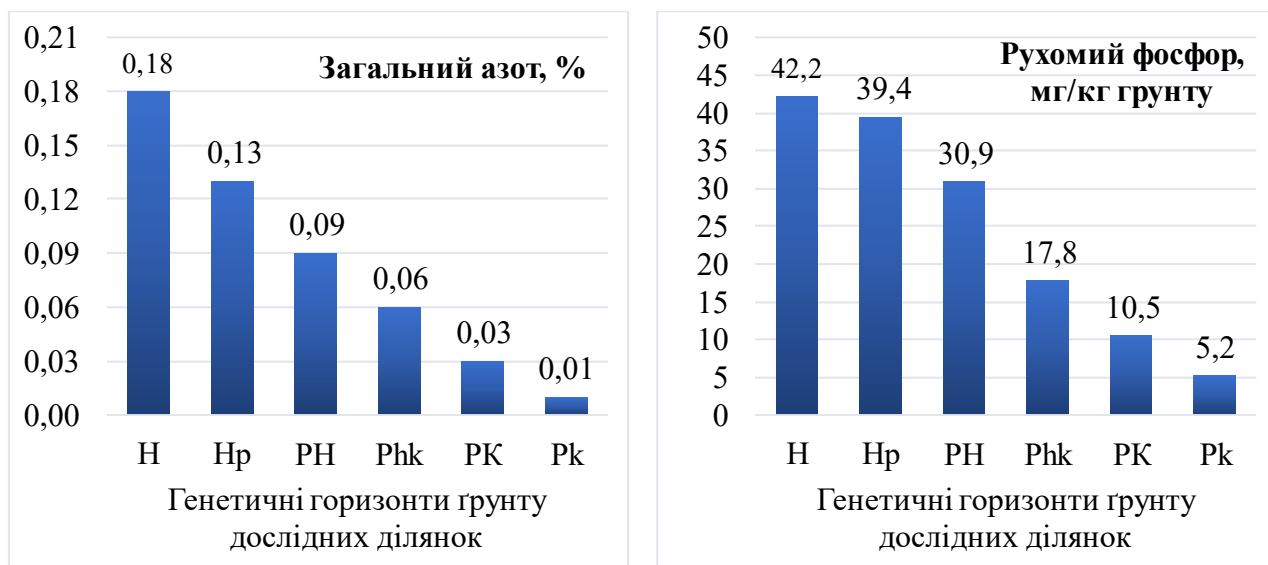


Рис. 2.2. Вміст загального азоту та рухомого фосфору за генетичними горизонтами ґрунту дослідних ділянок

На основі наведеної інформації можна зробити висновок, що ґрунт дослідних ділянок є типовим для Північного Степу України. За своїми основними ознаками та властивостями він цілком придатний для формування високої продуктивності вирощуваних культур, зокрема, кукурудзи на зерно.

2.2. Кліматична характеристика та метеорологічні умови років досліджень

Клімат Північного Степу України – континентальний з помірно посушливістю, різко вираженою сезонністю температур і опадів, тривалим теплим періодом і періодичними проявами нестачі вологи [120].

Середньорічна температура повітря за результатами багаторічних спостережень становить $+9,1^{\circ}\text{C}$ (рис. 2.3). Зимовий період помірно м'який, зі слабо розвиненим і нестійким сніговим покривом. Середня температура

найбільш холодного місяця січня становить $-3,6^{\circ}\text{C}$, лютого – $-2,6^{\circ}\text{C}$, хоча в окремі холодні роки можливі зниження до -20°C і нижче. За даними багаторічних спостережень, кількість днів з мінусовою температурою повітря в середньому становить 90 за рік (рис. 2.4), а кількість днів зі снігом – 52 (рис. 2.5).

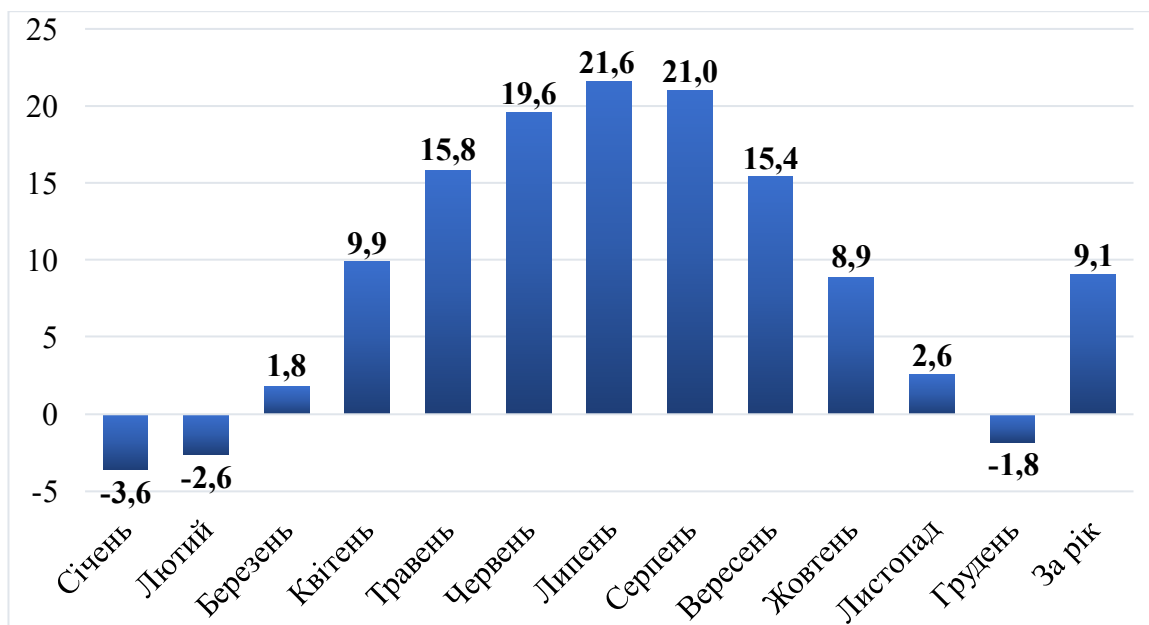


Рис. 2.3. Середньобагаторічні показники температури повітря у зоні проведення досліджень за даними Кіровоградського обласного центру з гідрометеорології, $^{\circ}\text{C}$

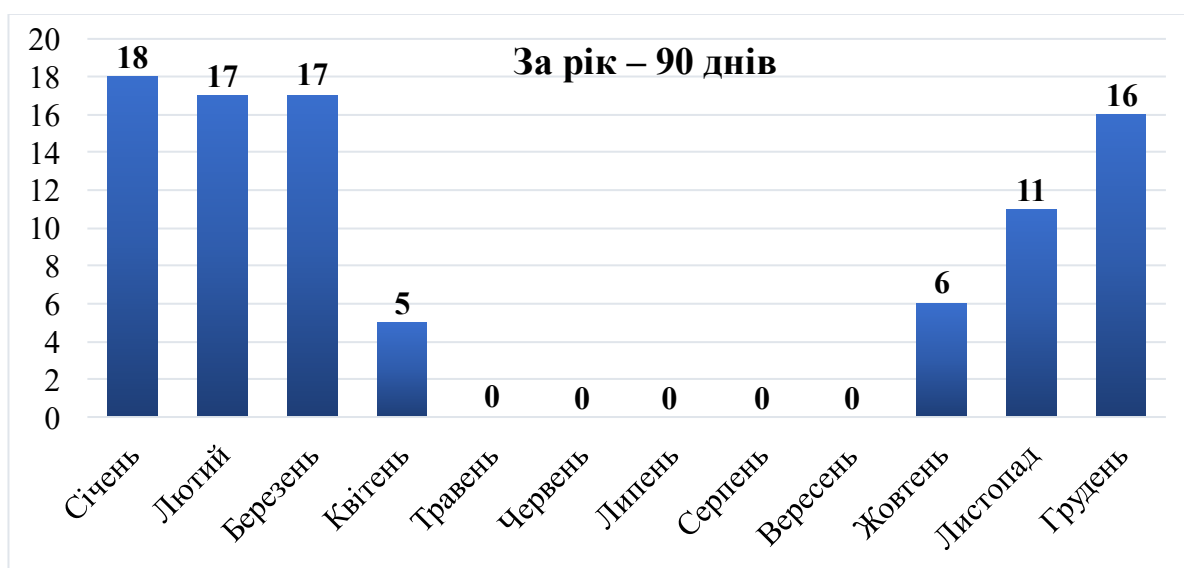


Рис. 2.4. Кількість днів з морозами у зоні проведення досліджень за даними Кіровоградського обласного центру з гідрометеорології (середньобагаторічні показники)

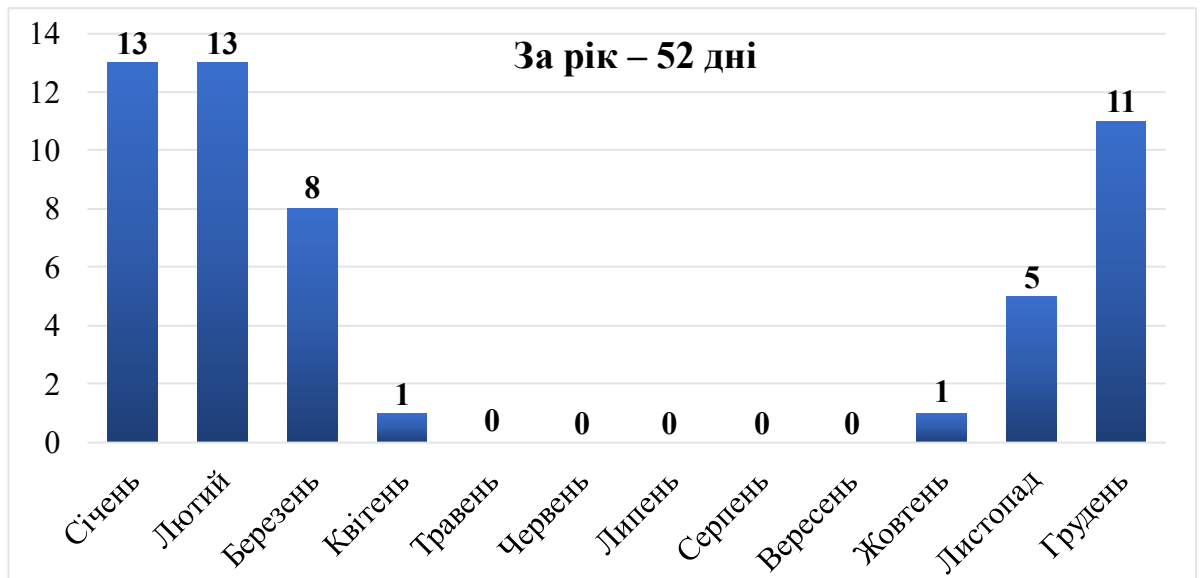


Рис. 2.5. Кількість днів зі снігом у зоні проведення досліджень за даними Кіровоградського обласного центру з гідрометеорології (середньобагаторічні показники)

Літо в Північному Степу тривале та спекотне. Найвищі температури спостерігають у липні ($+21,6^{\circ}\text{C}$) та серпні ($+21,0^{\circ}\text{C}$), а в періоди посухи денні максимуми можуть перевищувати $+35^{\circ}\text{C}$. Весняне потепління настає у березні, а середньодобові температури вище $+15^{\circ}\text{C}$ стабільно утримуються з травня по вересень.

У Північному Степу України перші осінні заморозки, зазвичай, спостерігаються вже у другій або третій декадах жовтня, тоді як останні весняні припадають переважно на першу – другу декади квітня. Сніговий покрив у регіоні нестійкий: він утримується протягом 20–65 діб, при цьому його середня висота становить 3–10 см. У деякі зими максимальна висота снігу може досягати 20–55 см. Проте, з огляду на сучасні кліматичні зміни, зимовий період дедалі частіше проходить із тривалими безсніжними інтервалами, а в окремі роки сніговий покрив може взагалі не формуватися. Промерзання ґрунту в середньому досягає 10–30 см, хоча глибина залягання мерзлого шару значною мірою залежить від погодних умов конкретного року.

Тривалість вегетаційного періоду у підзоні Північного Степу, як правило, становить 200–225 днів. Його початок пов'язаний з переходом середньодобової

температури повітря через 5°C, що у цій частині України відбувається, зазвичай, наприкінці березня – на початку квітня. Завершується вегетаційний період, як правило, наприкінці жовтня. Сума ефективних температур понад 5°C за даний період коливається у межах 2900–3200°. Період активної вегетації сільськогосподарських культур, коли середньодобова температура перевищує 10°C, зазвичай, триває від 160 до 180 днів, коливаючись у межах від 150 до 200 днів залежно від погодних умов. Початок даного періоду припадає на 20–25 квітня, а завершення – на 20–30 вересня.

На основі багаторічних спостережень, середньорічна кількість атмосферних опадів у зоні проведення досліджень становить 555,8 мм (рис. 2.6).

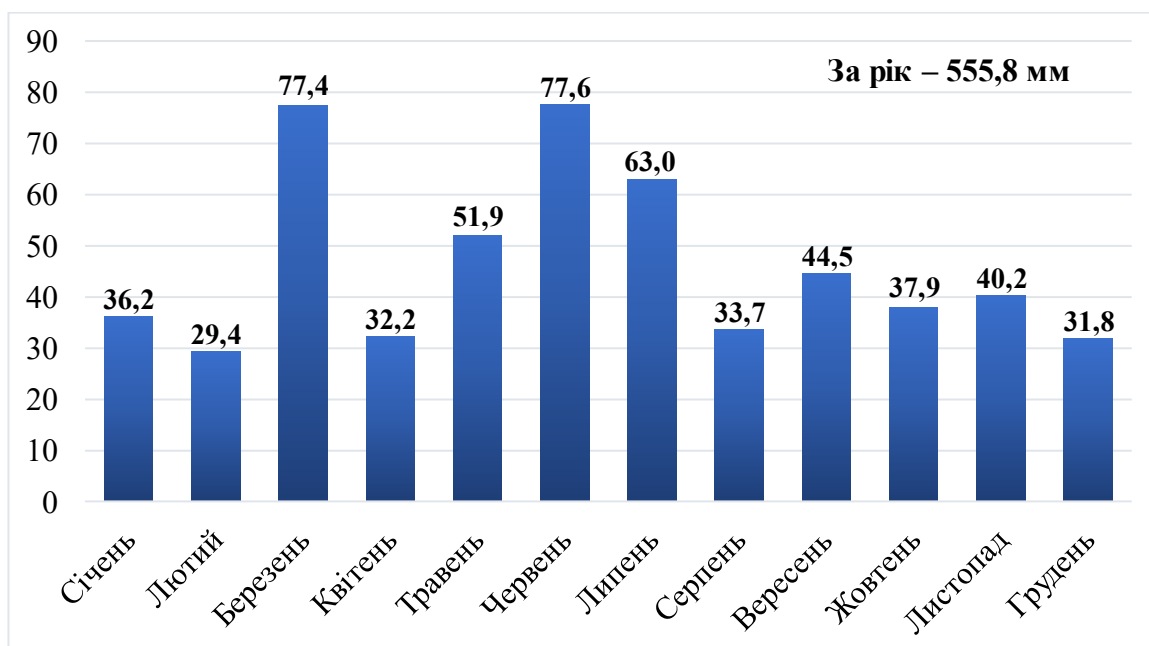


Рис. 2.6. Середньобагаторічна кількість опадів у зоні проведення досліджень за даними Кіровоградського обласного центру з гідрометеорології, мм

Розподіл опадів протягом року характеризується певною нерівномірністю, з виділенням двох помітних максимумів та періодів з мінімальними показниками. Найбільшу кількість опадів відзначають у березні (77,4 мм) та червні (77,6 мм), що свідчить про значне надходження вологи у ранньовесняний та літній періоди, хоча випадають вони дуже нерівномірно. Відносно високі

показники також відмічають у травні (51,9 мм) та липні (63,0 мм). Мінімальну кількість опадів спостерігають у зимові місяці, зокрема у лютому (29,4 мм) та грудні (31,8 мм). Також відносно низькі значення мають місце у січні (36,2 мм), квітні (32,2 мм) та серпні (33,7 мм). Загалом, річний хід опадів демонструє наявність періодів з інтенсивним зволоженням, що є важливим для вегетації сільськогосподарських культур, а також відносно сухих періодів, які слід враховувати під час планування агротехнічних заходів.

На основі багаторічних спостережень, середньорічна кількість днів з опадами у зоні проведення досліджень становить 105 днів, що свідчить про наявність опадів приблизно протягом третини року (рис. 2.7).

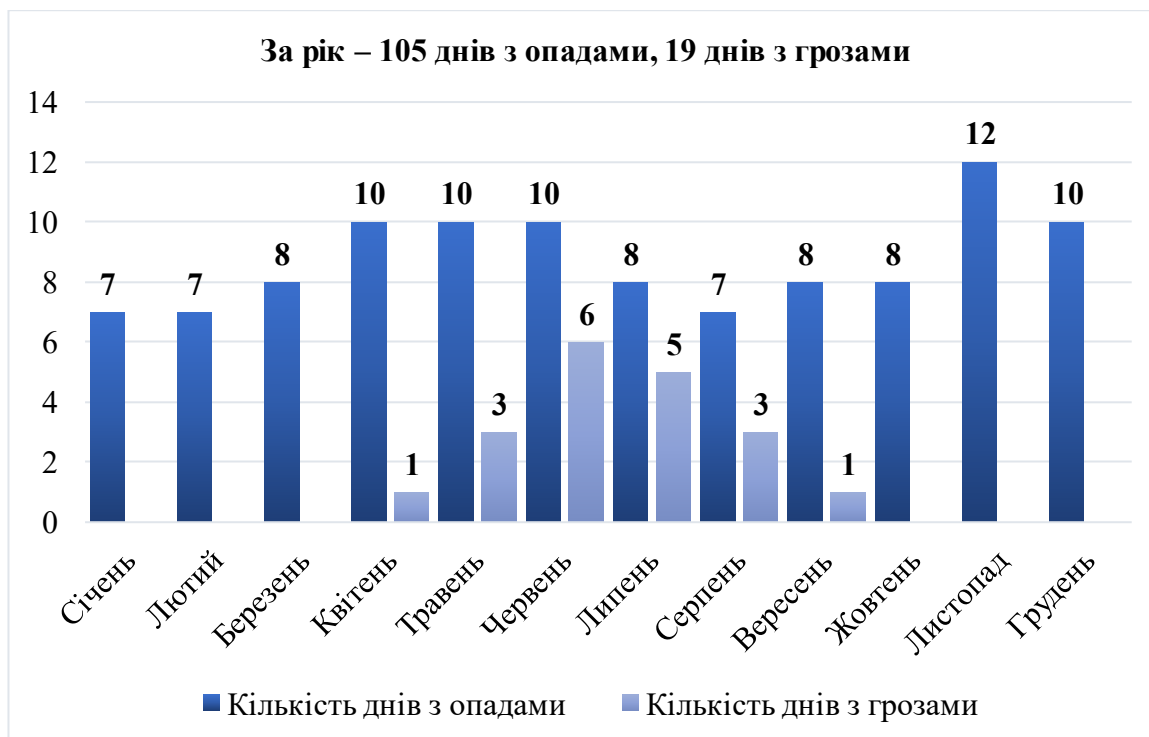


Рис. 2.7. Середньобагаторічна кількість днів з опадами і грозами у зоні проведення досліджень за даними Кіровоградського обласного центру з гідрометеорології

Розподіл днів з опадами протягом року відносно рівномірний, проте виділяються певні сезонні закономірності. Найбільша кількість днів з опадами припадає на листопад (12 днів). Досить висока частота опадів також характерна для квітня, травня, червня та грудня (по 10 днів у кожному місяці). Періоди з найменшою кількістю днів з опадами спостерігають у січні, лютому та серпні

(по 7 днів на місяць). Загалом, весняний (березень – травень) та осінній (вересень – листопад) періоди характеризуються дещо більшою кількістю днів з опадами (по 28 днів), ніж зимовий (грудень – лютий) та літній (червень – серпень) періоди – 24 та 25 днів відповідно, що вказує на помірно-вологий клімат з відносно стабільним надходженням опадів протягом значної частини року, з максимумом частоти опадів на пізню осінь.

Середньорічна кількість днів з грозами – 19. Максимум грозової активності припадає на червень (6 днів) та липень (5 днів), що є типовим для літніх місяців у регіонах з континентальним кліматом. У квітні та вересні грози є поодинокими, що відображає перехідні пори року.

За середньобогаторічними показниками, загальна кількість днів з туманами протягом року у зоні проведення досліджень становить 55 днів (рис. 2.8).

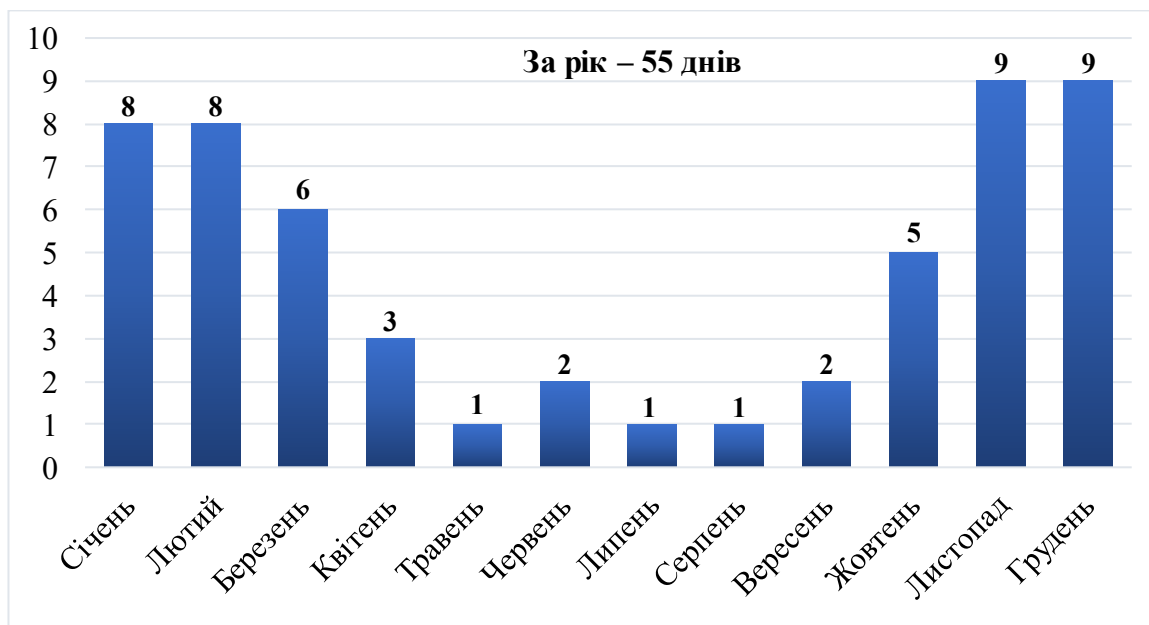


Рис. 2.8. Середньобогаторічна кількість днів з туманами у зоні проведення досліджень за даними Кіровоградського обласного центру з гідрометеорології

Розподіл днів з туманами впродовж року демонструє чітку сезонну динаміку. Найбільша частота туманів спостерігається у холодний період року. Максимальні значення припадають на листопад та грудень (по 9 днів), а також на січень та лютий (по 8 днів), тобто переважають умови для утворення туманів

в осінньо-зимовий період, що пов'язано з інверсіями температури, підвищеною вологістю повітря та охолодженням поверхні. Натомість, у теплу пору року кількість днів з туманами суттєво зменшується. Мінімальні значення фіксують у травні, липні та серпні (1 день на місяць), що є характерним для літніх місяців. Весняний та ранньоосінній періоди демонструють поступове зниження та подальше зростання частоти туманів.

Найбільшу частку повторюваності мають північні (15%) та північно-західні (14%) напрямки вітру, що свідчить про переважання вітрів із півночі. Найменша повторюваність характерна для південного напрямку – 5%. Східні та західні напрямки мають приблизно однакову частку – 9–10%. Таке розподілення напрямків вітру є типовим для умов Північного Степу України та має важливе значення для агрокліматичного аналізу, зокрема під час оцінки випаровування, поширення пилу, хімічних препаратів і вологозабезпечення.

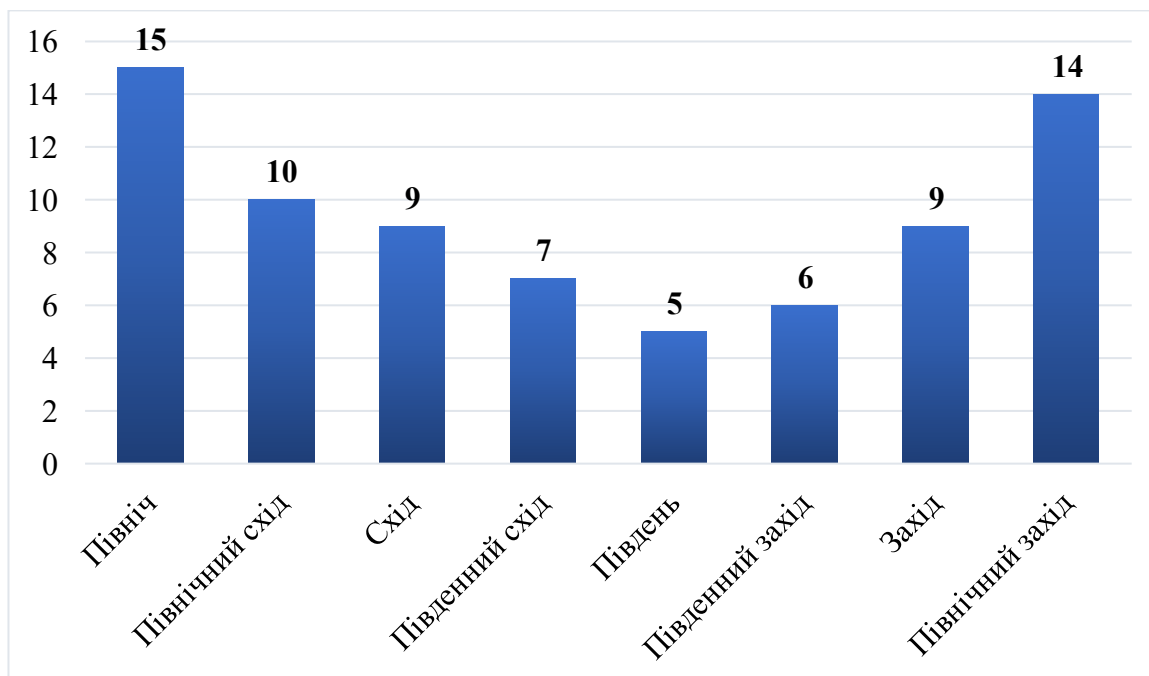


Рис. 2.9. Повторюваність напрямку вітру у зоні проведення досліджень за середньобагаторічними даними Кіровоградського обласного центру з гідрометеорології

Максимальну середню швидкість вітру спостерігають у лютому – 4,6 м/с, що характерно для зимового періоду з посиленими західними або північно-західними вітрами (рис. 2.10). Мінімальні значення реєструють у літні місяці:

липень і серпень – по 3,3 м/с, що свідчить про відносно спокійні атмосферні умови в теплу пору року. У холодний період року (листопад – березень) швидкість вітру перевищує 4 м/с, тоді як у травні – жовтні вона нижча за 4 м/с.



Рис. 2.10. Середньобагаторічна швидкість вітру у зоні проведення досліджень за даними Кіровоградського обласного центру з гідрометеорології, м/с

Рослинницька галузь Північного Степу зазнає впливу численних несприятливих агрокліматичних явищ, які суттєво знижують продуктивність сільськогосподарських культур. Серед них провідну роль відіграють посухи – атмосферні, ґрунтові та комплексні (атмосферно-ґрунтові), що виникають переважно у весняно-літній період, під час активної вегетації культурних рослин. За багаторічними спостереженнями, ймовірність виникнення атмосферних і комплексних посух у Північному Степу становить 60–70%. Ґрунтові посухи можуть зумовлювати істотне зниження вологозабезпечення у метровому шарі ґрунту, особливо на чорноземах звичайних. В останні десятиліття відбувається тенденція до зростання частоти весняних та літньо-осінніх посушливих періодів, з високим рівнем агрокліматичного ризику для кукурудзи, соняшнику та зернових колосових. У середньому за рік в умовах Північного Степу спостерігається 10–18 днів із суховіями, переважно у червні

та липні, коли вологість повітря опускається до критичних значень, а температура перевищує $+30^{\circ}\text{C}$. У роки з раннім літнім потеплінням кількість днів із суховійними явищами може перевищувати 20 [95, 251].

У період з травня по серпень можливі зливові дощі інтенсивністю понад 30 мм за годину, які обумовлюють розвиток ерозійних процесів, ущільнення верхнього шару ґрунту та вимивання поживних речовин. Градобой спостерігають у середньому 1–2 рази на сезон, переважно у період активного розвитку листової маси. Сильні вітри (>15 м/с) з найбільшою повторюваністю в зимовий і весняний періоди, зокрема у лютому – березні, можуть пошкоджувати посіви на ранніх стадіях розвитку. Пилові бурі у Північному Степу – більш рідке явище, ніж на півдні, але в умовах весняної посухи на фоні недостатнього рослинного покриву вони все ж можуть виникати. Найбільш вразливими є відкриті площі після зяблевої оранки або за інтенсивного механічного обробітку ґрунту [59, 124].

Незважаючи на відносно більш сприятливі умови порівняно з Південним Степом, Північний Степ залишається зоною високого агрокліматичного ризику через посухи, суховії, зливи та локальні градобой, особливо у період травень – серпень, що вимагає впровадження у виробництво адаптивних технологій вирощування сільськогосподарських культур, зокрема: добору посухостійких гібридів, застосування антистресантів, мульчування, збереження ґрунтової вологи та моніторингу агрокліматичних показників у режимі реального часу [94].

У роки проведення досліджень (2022–2024 рр.) спостерігали чітку закономірність щодо зростання теплозабезпеченості. Сума ефективних температур (понад 5°C) поступово зростала – від $2426,1^{\circ}\text{C}$ у 2022 р. до $2715,4^{\circ}\text{C}$ у 2023 р. та досягла $3106,6^{\circ}\text{C}$ у 2024 р. (рис. 2.11). Аналогічну динаміку визначено і для суми активних температур (понад 10°C), яка зросла з $3226,1^{\circ}\text{C}$ у 2022 р. до $3479,0^{\circ}\text{C}$ у 2023 р. та $4176,6^{\circ}\text{C}$ у 2024 р., що свідчить про подовження періоду активної вегетації та підвищення теплового потенціалу клімату зони проведення досліджень.

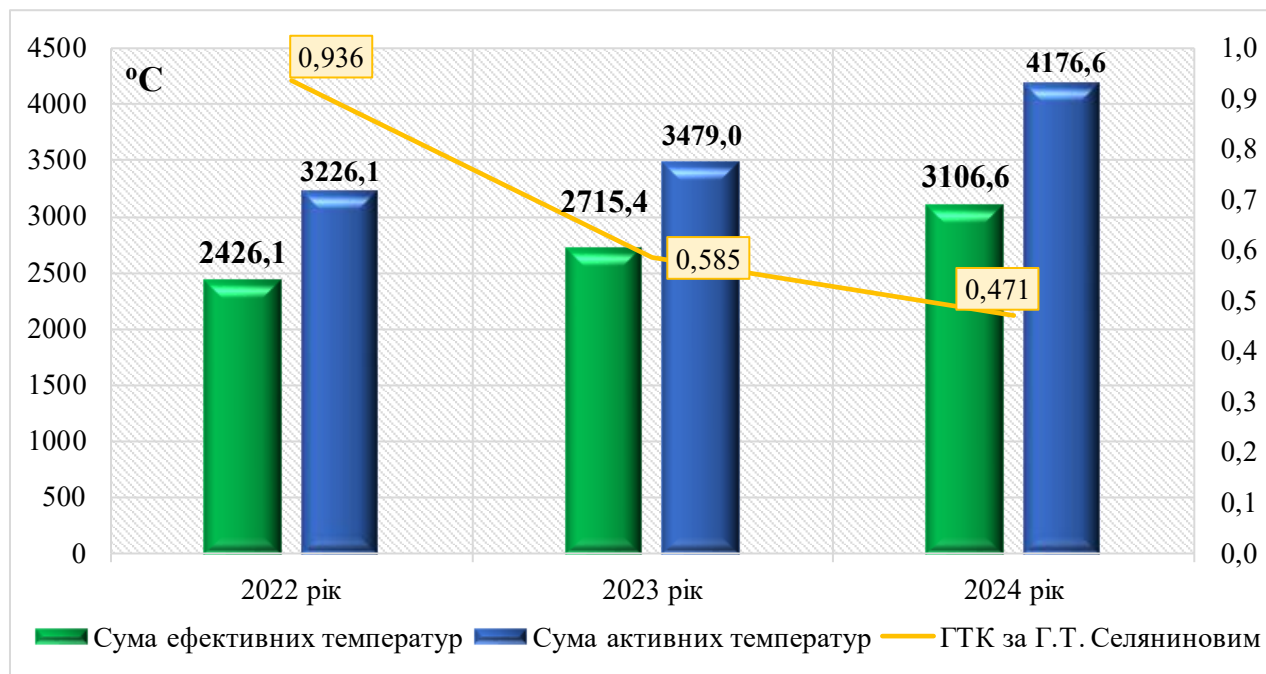


Рис. 2.11. Агрокліматичні показники у роки проведення досліджень (за даними Кіровоградського обласного центру з гідрометеорології)

Динаміка гідротермічного коефіцієнта (ГТК) за Г.Т. Селяниновим свідчить про значне погіршення умов вологозабезпечення. Якщо у 2022 р. ГТК становив 0,936, що свідчило про оптимальний або близький до оптимального рівня зволоження (для степових умов), то вже у 2023 р. його значення знизилося до 0,585, а у 2024 р. – до 0,471. Таке зниження ГТК до значень нижче 0,7 свідчить про перехід кліматичних умов у бік вираженої аридності та недостатнього зволоження протягом періоду активної вегетації.

Таким чином, протягом 2022–2024 рр. спостерігалось збільшення теплового ресурсу за одночасного скорочення вологозабезпеченості, що свідчить про інтенсифікацію посушливих явищ у зоні проведення досліджень.

Погодні умови у роки проведення досліджень відрізнялись від середньобаторічних показників. Аналіз температурного режиму та гідротермічних умов 2022 р. (рис. 2.12) свідчить про їх високу мінливість протягом вегетаційного періоду кукурудзи, що суттєво вплинуло на ріст, розвиток і формування врожаю культури.

Упродовж весняного періоду середньомісячна температура поступово зростала з 2,5°C у березні до 14,8°C у травні, що забезпечило сприятливі умови

для початку посівної кампанії в оптимальні строки. Опади в цей період становили: 41 мм у березні, 30 мм у квітні та 41 мм у травні. Хоча загальна кількість вологи у весняні місяці не була достатньою, вона забезпечила добрі умови для проростання насіння та початкових етапів органогенезу кукурудзи.

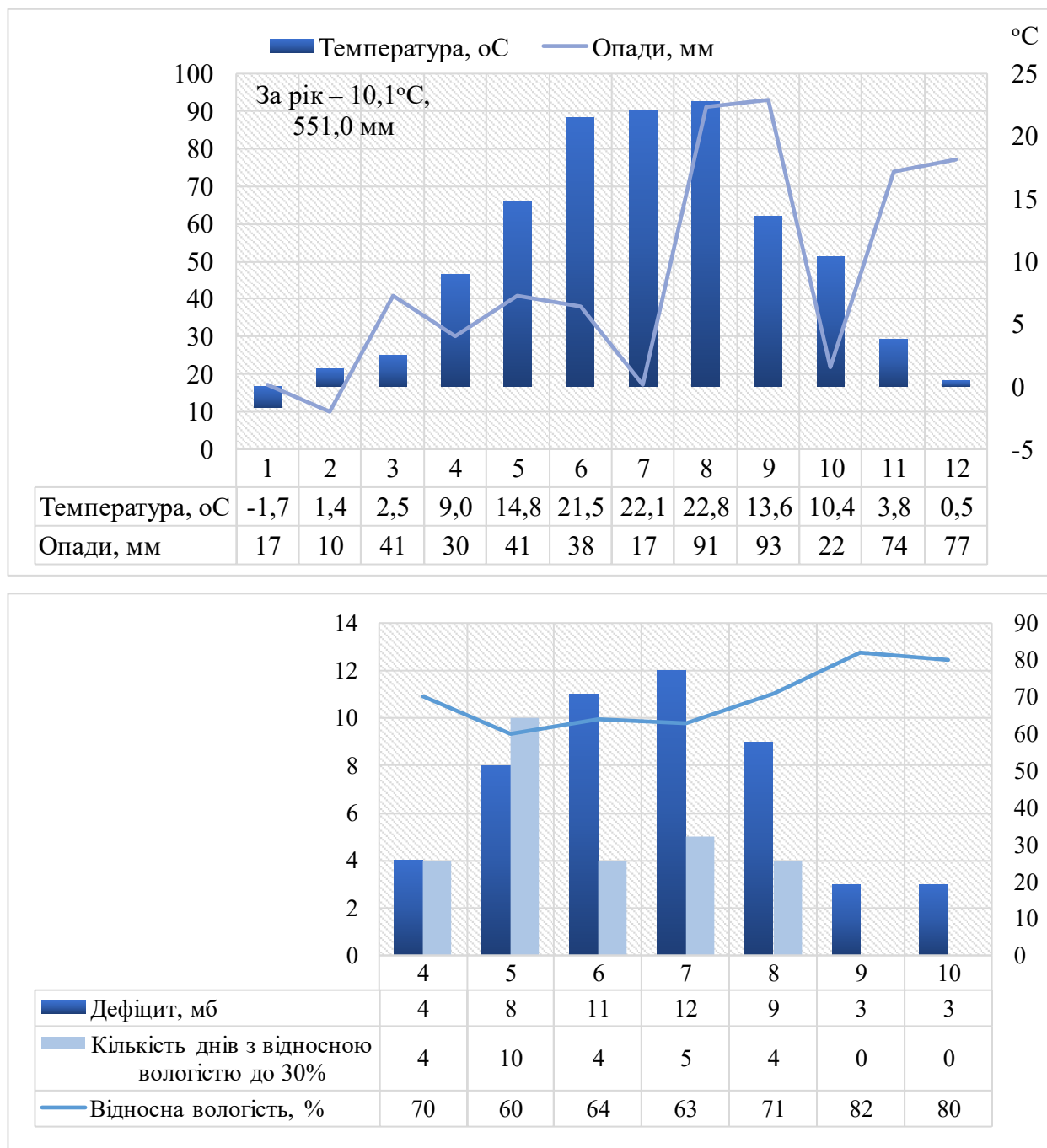


Рис. 2.12. Показники погодних умов у 2022 р. (за даними Кіровоградського обласного центру з гідрометеорології)

Упродовж активної вегетації культури (червень – серпень) середньомісячна температура утримувалась на рівні 21,5–22,8°C, що є

сприятливим показником для інтенсивного фотосинтезу, росту вегетативної маси та формування генеративних органів. У червні випало 38 мм опадів, у липні – лише 17 мм, а серпень був значно вологішим – 91 мм. У липні та червні спостерігали підвищений атмосферний дефіцит вологості (11–12 мб), зниження відносної вологості повітря до 63–64%, а також 4–5 днів із відотною вологістю нижче 30%, що свідчить про наявність атмосферної посухи, особливо небезпечної у фазу цвітіння, яка може негативно позначитися на процесах запліднення і формуванні зерна.

У вересні погодні умови залишалися сприятливими для наливу зерна: температура знизилася до 13,6°C, опади становили 93 мм, а відносна вологість досягала 82% за мінімального дефіциту вологості (3 мб), що сприяло відновленню водного балансу ґрунту.

Осінній період (жовтень – листопад) характеризувався помірними температурними показниками (10,4–3,8°C) і відносно високою кількістю опадів (22 мм у жовтні, 74 мм у листопаді), що позитивно вплинуло на підготовку ґрунту до наступного аграрного сезону.

Загалом, погодні умови 2022 р. в зоні проведення досліджень були переважно задовільними для формування зернової продуктивності кукурудзи. Основним лімітуючим фактором була короткочасна літня атмосферна посуха, проте достатня кількість вологи на початку та в кінці вегетації частково компенсувала її негативний вплив.

Погодні умови вегетаційного періоду 2023 р. вирізнялися значною мінливістю гідротермічних показників, що безпосередньо впливало на ріст і розвиток рослин кукурудзи. У першій половині року (березень – травень) середньомісячна температура зросла з 5,4°C у березні до 16,1°C у травні, що забезпечило сприятливі теплові ресурси для початкових фаз росту й розвитку (рис. 2.13). Кількість опадів була дуже нерівномірною: у квітні випало 66 мм, а у травні – лише 16,5 мм. Починаючи з травня, спостерігали підвищений рівень атмосферного дефіциту вологи (9 мб) та низьку відносну вологість повітря (59%), а кількість днів із критично низькою вологістю ($\leq 30\%$) досягала 8, що

обумовило розвиток ґрунтової та атмосферної посухи. У літні місяці (червень – серпень) температурний режим залишався високим – 20,4–23,6°C, що відповідало високим вимогам кукурудзи до тепла. Проте опади мали нестійкий характер – 41 мм у червні, 45 мм у липні та 33 мм у серпні за середньобогаторічної норми 77,6; 63,0 та 33,7 мм відповідно. Тривала атмосферна посуха, дефіцит вологи збільшився до 12 мб, а кількість днів із дуже низькою відносною вологістю повітря становила 8, 1 та 2 дні відповідно.

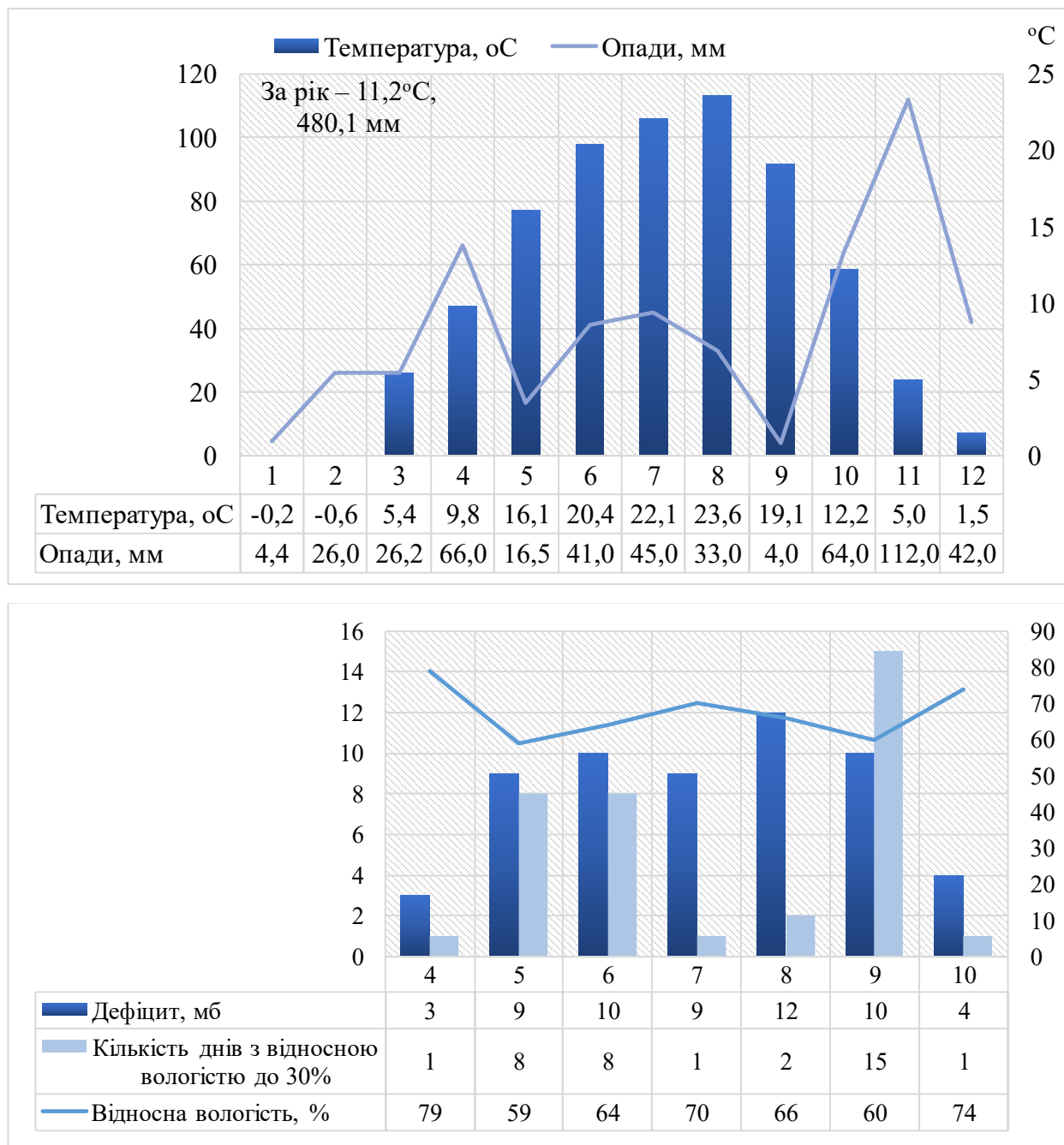


Рис. 2.13. Показники погодних умов у 2023 р. (за даними Кіровоградського обласного центру з гідрометеорології)

У вересні, незважаючи на помірне зниження температури до 19,1°C, кількість опадів була критично низькою – лише 4 мм, а число днів з відотною вологістю $\leq 30\%$ досягло свого максимуму – 15 днів, що значно посилювало стресові умови для дозрівання зерна.

Загалом, 2023 р. характеризувався високими температурами атмосферного повітря, дефіцитом опадів у критичні фази росту й розвитку, великою кількістю днів із низькою відотною вологістю та атмосферно-грунтовою посухою у другій половині вегетації, що суттєво обмежувало реалізацію потенційної продуктивності вирощуваних у досліді гібридів кукурудзи.

Погодні умови 2024 р. формувалися за умов високої теплозабезпеченості та значного дефіциту вологи впродовж усього вегетаційного періоду, що сприяло розвитку стресових ситуацій для рослин на різних етапах органогенезу.

У весняний період середньомісячна температура поступово зростала з 4,5°C у березні до 16,1°C у травні, що сприяло своєчасному початку посівної кампанії (рис. 2.14). Проте рівень вологозабезпеченості був вкрай недостатнім: у травні випало лише 6,0 мм опадів, тоді як дефіцит вологи становив 10 мб, відносна вологість повітря – 52%, а кількість днів з вологістю $\leq 30\%$ – 15. Умови, які склалися, спричинили розвиток ранньовесняної атмосферної посухи, яка обмежувала формування листкової поверхні та кореневої системи рослин кукурудзи. Влітку спостерігали аномально високі температури атмосферного повітря (22,7–26,3°C), які супроводжувалися гострою нестачею вологи – опади були надзвичайно низькими – 3,1 мм у липні та 12,0 мм у серпні. При цьому рівень атмосферного дефіциту вологи досяг критичних значень – 19 мб у липні та 18 мб у серпні. Відносна вологість повітря встановилася на рівні 51–53%, а кількість днів із критично низькою вологістю ($\leq 30\%$) була винятково високою: 18 днів у липні і 20 днів у серпні. У вересні, попри незначне зниження температури (20,9°C), погодна ситуація залишалася несприятливою через мізерні опади (8,3 мм) та високий рівень посухи (14 мб; 17 днів із дуже низькою вологістю).

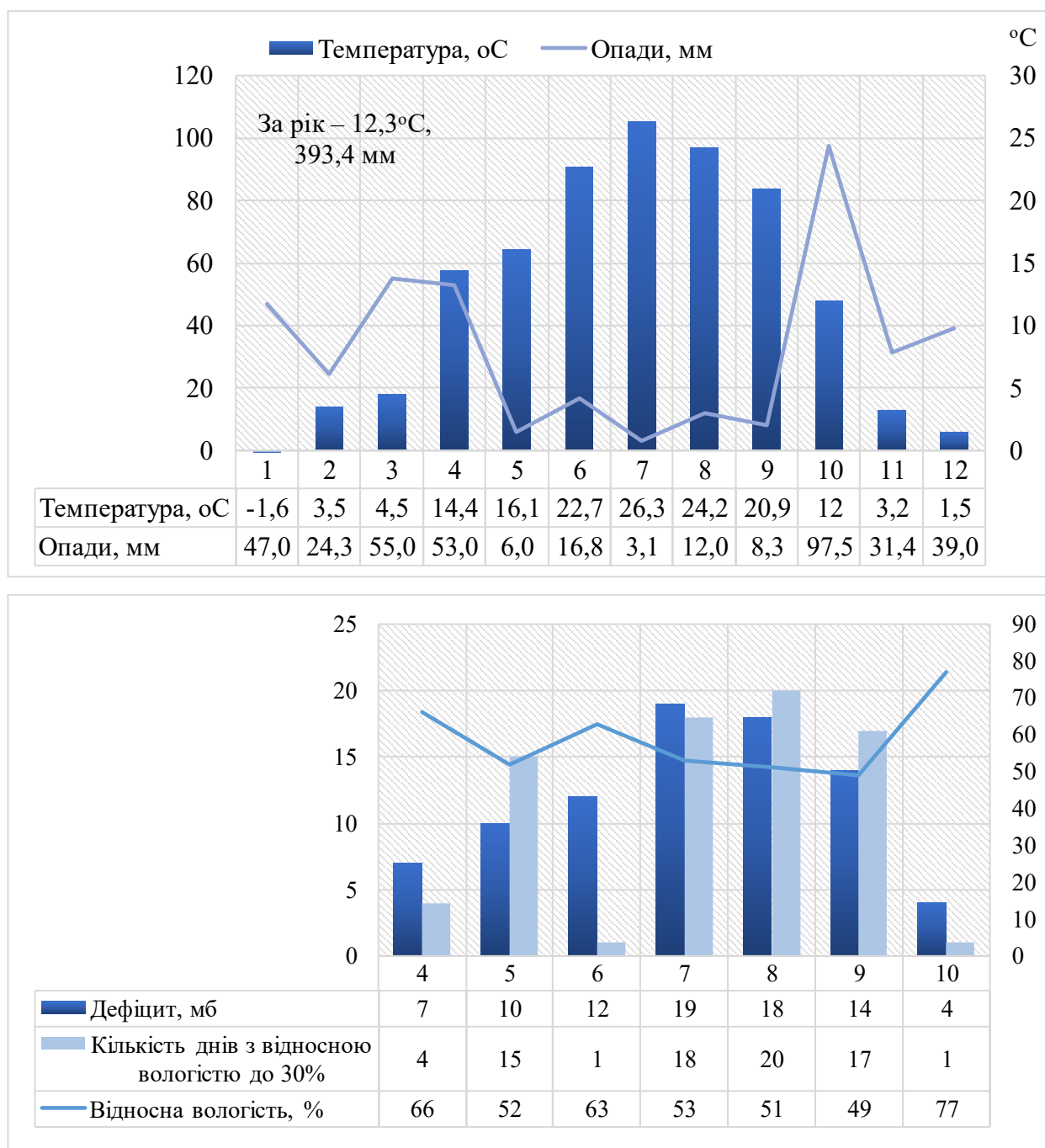


Рис. 2.14. Показники погодних умов у 2024 р. (за даними Кіровоградського обласного центру з гідрометеорології)

У жовтні погодні умови дещо стабілізувалися: температура знизилася до 12°C, а кількість опадів зросла до 97,5 мм, проте це вже не вплинуло на рівень продуктивності посівів кукурудзи, оскільки більшість гібридів до того часу вже завершили активну вегетацію.

Таким чином, вегетаційний період 2024 р. вирізнявся поєднанням високих температур з катастрофічним дефіцитом атмосферних опадів та

надзвичайно низькою відотною вологістю повітря. Особливо несприятливими були умови з травня по серпень, коли посуха мала комплексний характер (атмосферно-грунтова) та суттєво обмежувала формування генеративних органів, накопичення сухої речовини та вмісту білка в зерні.

Кліматичні та погодні умови Північного Степу України та Кіровоградської області зокрема, загалом відповідають біологічним вимогам кукурудзи та створюють потенційно сприятливе середовище для формування її високої продуктивності. Разом з тим, основним лімітуючим чинником є нестача вологи, особливо в період активної вегетації культури.

Роки досліджень характеризувалися суттєвими відмінностями за гідротермічними умовами, що безпосередньо впливало на ріст, розвиток і формування продуктивності вирощуваних у досліді гібридів кукурудзи. Коливання температурного режиму та рівня зволоження, зокрема чергування надмірного дефіциту атмосферної вологи та недостатньої кількості опадів у критичні фази органогенезу, обумовили різний рівень урожайності та якості зерна за роками досліджень.

2.3. Схема досліду та методика досліджень

З метою визначення впливу густоти стояння рослин та позакореневих підживлень мікродобривами на врожайність та якість зерна гібридів кукурудзи різних груп ФАО впродовж 2022–2024 рр. на дослідному полі ТОВ АФ «Агротехнологія-Плюс» проведено трифакторний дослід у чотириразовій повторності методом розщеплених ділянок із систематичним розміщенням варіантів. Загальна площа дослідної ділянки становила 100 м², облікова – 60 м². Схему досліду наведено у таблиці 2.3.

У досліді вирощували гібриди кукурудзи марки DEKALB різних груп ФАО (фактор А): ДКС 4098 (ФАО 310), ДКС 4109 (ФАО 320), ДКС 4391 (ФАО 350), ДКС 4598 (ФАО 360), ДКС 4712 (ФАО 370), ДКС 5075 (ФАО 410), ДКС 5206 (ФАО 420).

Схема дослідю

Фактор А – гібрид	Фактор В – густина стояння рослин, тис. шт./га	Фактор С – позакореневі підживлення
1. ДКС 4098 (ФАО 310)	1. 55	1. Обробка водою (контроль)
2. ДКС 4109 (ФАО 320)	2. 60	2. Аміно Ультра Кукурудза
3. ДКС 4391 (ФАО 350)	3. 65	(0,75 кг/га)
4. ДКС 4598 (ФАО 360)	4. 70	3. Мікро-Мінераліс
5. ДКС 4712 (ФАО 370)	5. 75	Кукурудза (1,5 л/га)
6. ДКС 5075 (ФАО 410)	6. 80	
7. ДКС 5206 (ФАО 420)	7. 90	
	8. 110	

ДКС 4098 – середньостиглий гібрид кукурудзи (ФАО 310), орієнтований на інтенсивне вирощування в умовах високотехнологічного землеробства. Належить до зубовидного типу зерна (*Zea mays indurata*). До основних переваг слід віднести: високий потенціал урожайності, високу адаптивність до різних технологій та посухостійкість.

Гібрид ДКС 4098 характеризується високою адаптивністю та стабільністю, що підтверджується максимальною оцінкою його пластичності (9 балів за 9-бальною шкалою). Він демонструє відмінну посухостійкість (9 балів), що робить його придатним для вирощування в умовах періодичного дефіциту вологи та нестабільного зволоження. Початкова енергія росту (8 балів) забезпечує швидкий старт розвитку та формування вирівняних сходів, навіть за помірних температур. Гібрид ДКС 4098 виявляє високу стійкість до фузаріозних уражень стебла та качана (9 балів), що сприяє збереженню продуктивності та зменшенню ризику втрат урожаю під час вегетації та зберігання. Вологовіддача знаходиться на максимально високому рівні (9 балів), що свідчить про швидке зниження вологості зерна після настання фізіологічної стиглості та зменшує потребу у додаткових витратах на сушіння. Холодостійкість гібриду (8 балів) дозволяє проводити сівбу у ранні строки за температури ґрунту 8°C.

Гібрид ДКС 4098 придатний до вирощування в усіх агрокліматичних зонах та на різних типах ґрунтів, за виключенням важких глинистих, де можуть виникати обмеження для розвитку кореневої системи. Він добре реагує на середній і високий рівень мінерального живлення, що забезпечує максимально ефективне розкриття продуктивного потенціалу. Рекомендованими є традиційний або мінімальний обробіток ґрунту.

Гібрид ДКС 4098 витримує вирощування в монокультурі та нетривалий перестій, що підвищує технологічну гнучкість виробництва. Завдяки своїм характеристикам його рекомендовано використовувати як для зернового, так і для силосного напрямів, з можливістю вирощування в зрошуваних умовах.

ДКС 4109 – середньостиглий зерновий гібрид кукурудзи з ФАО 320. Він має зубовидний тип зерна, високий потенціал урожайності, міцне стебло та компактну рослину. Virізняється високою адаптивністю та здатністю стабільно реалізовувати свій продуктивний потенціал у різних ґрунтово-кліматичних умовах. Характеризується високою стабільністю та пластичністю, що забезпечує надійність урожаю за коливань температури, вологості та рівня забезпеченості елементами живлення. Гібрид 4109 демонструє добру посухостійкість, що дозволяє ефективно формувати врожай у зонах з нестійким зволоженням. Початкова енергія росту знаходиться на високому рівні, завдяки чому рослини дружно та інтенсивно стартують навіть за помірно прохолодних умов сівби.

Гібрид ДКС 4109 має підвищену стійкість до ураження фузаріозом стебла і качана, що сприяє збереженню структурної цілісності рослин та зменшує втрати зерна під час збирання. Висока вологовіддача є однією з основних переваг гібриду: зерно швидко втрачає вологу після досягнення фізіологічної стиглості і забезпечує зниження витрат на післязбиральне сушіння. Холодостійкість дозволяє вирощувати гібрид ДКС 4109 за ранніх строків сівби, коли температура ґрунту досягає 8–9°C.

Гібрид ДКС 4109 придатний для вирощування в усіх ґрунтово-кліматичних зонах України та добре себе проявляє на різних типах ґрунтів,

особливо на суглинкових і глинистих. Він позитивно реагує на середній і високий рівень мінерального живлення та найкраще реалізує потенціал за умов традиційного обробітку ґрунту. Гібрид ДКС 4109 витримує вирощування в монокультурі та може зберігати продуктивність навіть за нетривалого перестоювання.

Гібрид ДКС 4391 (ФАО 350) належить до середньопізньої групи стиглості та характеризується високою інтенсивністю росту і значним продуктивним потенціалом. Завдяки зубовидному типу зерна та потужній кореневій системі він демонструє стабільні показники врожайності, навіть за контрастних умов середовища. Гібрид відзначається високою стабільністю і пластичністю (8 балів), що дозволяє рослинам ефективно адаптуватися до різних агрокліматичних зон та технологічних режимів вирощування. Посухостійкість – висока (9 балів), що свідчить про здатність рослин формувати врожайність за недостатнього або нерівномірного зволоження.

Однією з важливих характеристик гібриду ДКС 4391 є висока початкова енергія росту (9 балів). Інтенсивне проростання та активний розвиток у ранні фази сприяють формуванню вирівняних і конкурентоспроможних посівів, навіть за несприятливих умов температурного режиму. Стебла та качани гібриду виявляють достатньо високу стійкість до фузаріозних уражень (8 балів), що зменшує фітосанітарні ризики та підвищує надійність формування врожаю. Вологовіддача є високою (9 балів), що забезпечує швидке зниження вологості зерна після настання фізіологічної стиглості і сприяє зменшенню витрат на післязбиральну доробку. Виражена холодостійкість (9 балів) дозволяє безпечно проводити ранню сівбу за досягнення температури ґрунту 9°C.

Гібрид ДКС 4391 придатний для вирощування в усіх агрокліматичних зонах України та може реалізовувати свій потенціал на різних типах ґрунтів, включно з легкими піщаними за умови достатнього зволоження. Він добре реагує на середній і високий рівні мінерального живлення, а також сумісний із традиційною, мінімальною та нульовою системами обробітку ґрунту. Гібрид ДКС 4391 придатний до вирощування в монокультурі та демонструє стійкість

до тривалого перестоювання, що є важливою перевагою в умовах виробничих та погодних ризиків.

Гібрид ДКС 4598 (ФАО 360) вирізняється високим потенціалом урожайності та універсальністю щодо умов вирощування. Це середньопізній зубовидний гібрид, який демонструє високу стабільність і пластичність (9 балів), що робить його придатним для вирощування в усіх ґрунтово-кліматичних зонах України. Даний гібрид відзначається високою посухостійкістю (9 балів), що є важливою перевагою в умовах нестабільного зволоження, а також стійкістю до фузаріозу стебла і качана (9 балів), що забезпечує надійність формування врожаю.

Ранній розвиток рослин підтримується досить високою початковою енергією росту (8 балів) та високою холодостійкістю (9 балів), завдяки чому гібрид ДКС 4598 добре стартує навіть за прохолодних умов весняного періоду. Вологовіддача становить 7 балів, що за сприятливих погодних умов забезпечує оптимальне дозрівання врожаю без значних затримок.

Гібрид ДКС 4598 невибагливий до типу ґрунтів і за умови достатнього зволоження формує високий рівень урожайності навіть на ґрунтах піщаного гранулометричного складу. Найкраще реагує на середній і високий рівень мінерального живлення та сумісний із різними технологіями обробітку ґрунту: традиційною, мінімальною та No-till. Сівбу рекомендовано проводити за прогрівання ґрунту до 9°C. Гібрид ДКС 4598 добре переносить вирощування в монокультурі та здатний витримувати тривалий перестій, що підвищує гнучкість у плануванні збирання врожаю.

Гібрид ДКС 4598 рекомендований як для зернового напрямку, так і для силосного використання, забезпечує при цьому високу масу та якість силосу. Крім того, він придатний для вирощування в умовах зрошення, що дозволяє максимальною мірою реалізувати його врожайний потенціал.

ДКС 4712 (ФАО 370) – середньопізній зубовидний гібрид із високою адаптивністю та вираженою пластичністю, що забезпечує стабільне формування врожаю в широкому діапазоні ґрунтово-кліматичних умов. Він має

міцне стебло і потужну кореневу систему, добре реагує на загущення та зберігає продуктивність навіть за підвищеної конкуренції між рослинами.

Гібрид ДКС 4712 характеризується високими показниками стабільності та пластичності (9 балів), відмінною початковою енергією росту (9 балів) і високою холодостійкістю (9 балів), що сприяє успішному старту культури за ранніх строків сівби і прохолодних весняних температур. Посухостійкість становить 8 балів, а здатність протистояти фузаріозу стебла і качана – 9 балів, що забезпечує надійне формування врожаю в роки з підвищеним інфекційним навантаженням. Висока вологовіддача (9 балів) сприяє рівномірному та своєчасному дозріванню.

Гібрид ДКС 4712 невибагливий до ґрунтових умов і придатний до вирощування на всіх типах ґрунтів. Найкращою мірою реалізує потенційні можливості за середнього або високого рівня мінерального живлення. Він сумісний із усіма технологіями обробітку ґрунту – традиційною, мінімальною та No-till. Оптимальні строки сівби настають за температури ґрунту 8°C. Гібрид ДКС 4712 добре переносить вирощування в монокультурі та витримує тривале перестоювання на полі, що забезпечує більшу гнучкість у плануванні збиральних робіт. Гібрид ДКС 4712 придатний як для зернового використання, так і для отримання якісного силосу з високою поживністю і доброю структурою.

ДКС 5075 (ФАО 410) – пізньостиглий зубовидний гібрид кукурудзи, який характеризується високою стабільністю продуктивності у всіх біокліматичних зонах та здатністю формувати високий рівень урожайності за різних умов вирощування. Він вирізняється міцним стеблом і добре розвиненою кореневою системою, що забезпечує стійкість до вилягання та ефективне використання ґрунтової вологи.

Гібрид ДКС 5075 має високі показники початкової енергії росту (9 балів), що сприяє швидкому старту та формуванню рівномірних сходів. Посухостійкість (8 балів) робить його надійним у роки з дефіцитом опадів. Толерантність до фузаріозу стебла і качана є високою (9 балів), що знижує

ризика втрати врожаю через ураження грибними патогенами. Показники холодостійкості та вологовіддачі (8 балів) гарантують надійність за прохолодних весняних умов і достатньо швидке дозрівання восени.

Гібрид ДКС 5075 придатний для вирощування на всіх типах ґрунтів, у тому числі легкого гранулометричного складу (за умови достатнього зволоження), найкраще реалізує потенціал за середнього або високого рівня мінерального живлення. Даний гібрид сумісний із традиційним, мінімальним та нульовим обробітком ґрунту. Рекомендована температура ґрунту для сівби – 9°C. Добре витримує монокультуру та тривале перестоювання на полі, що забезпечує гнучкість при організації технологічних операцій. Придатний як для вирощування на зерно, так і для отримання високоякісного силосу. За наявності зрошення його продуктивність може зростати, що робить гібрид ДКС 5075 привабливим для господарств різних технологічних рівнів.

ДКС 5206 (ФАО 420) належить до пізньостиглих зубовидних гібридів кукурудзи, що характеризуються високим потенціалом урожайності та здатністю формувати стабільні врожаї за різних ґрунтово-кліматичних умов. Він вирізняється міцним стеблом і добре розвиненою кореневою системою, що знижує ризик вилягання та забезпечує ефективне використання вологи та елементів живлення.

Початкова енергія росту гібриду ДКС 5206 оцінюється в 8 балів, що сприяє формуванню дружних і рівномірних сходів. Досить висока посухостійкість (8 балів) дозволяє рослинам зберігати продуктивність у періоди дефіциту вологи. Висока стійкість до фузаріозу стебла та качана (9 балів) значно знижує ризики розвитку хвороб і забезпечує збереження врожаю. Показники холодостійкості та вологовіддачі (по 8 балів) гарантують надійність на ранніх етапах росту і розвитку та достатньо швидке висушування зерна під час дозрівання.

Гібрид ДКС 5206 придатний для вирощування в усіх зонах України на різних типах ґрунтів. Найповніше реалізує свій потенціал за високого рівня мінерального живлення. Даний гібрид сумісний із традиційним та мінімальним

обробітком ґрунту, а оптимальна температура для сівби становить 9°C. Він добре переносить монокультуру та витримує тривалий перестій на полі, що є важливим для господарств із напруженим виробничим графіком. Гібрид ДКС 5206 рекомендований як для зернового виробництва, так і для отримання високоякісного силосу. За умов зрошення продуктивність може істотно зростати, що робить даний гібрид привабливим для інтенсивних технологій вирощування.

Аміно Ультра Кукурудза від польської компанії INTERMAG – органо-мінеральне мікродобрило для позакореневого підживлення кукурудзи, яке містить мікроелементи в хелатній формі, г/кг: Fe (залізо) – 68, Zn (цинк) – 60, Mn (марганець) – 57, B (бор) – 16, Cu (мідь) – 8, Mo (молібден) – 0,8. Ці елементи поєднані з амінокислотою гліцином за технологією GCAA, що забезпечує швидке та ефективне засвоєння поживних речовин рослиною. Гліцин, як найбільш рухома амінокислота, сприяє швидкому транспортуванню мікроелементів у рослині. Амінокислоти у складі мікродобрива є джерелом азоту (N – 40 г/кг, вміст гліцину – 30–35%). Мікродобрило також містить 22 г/кг оксиду магнію (MgO). Особливості мікродобрива Аміно Ультра Кукурудза демонструє рис. 2.15, переваги застосування – рис. 2.16.

Мікро-Мінераліс Кукурудза від ТОВ «Мінераліс Україна» – спеціально розроблений комплекс макро- і мікроелементів у складі рідкого розчину для проведення позакорневих підживлень. Склад мікродобрива представлений амонійно-карбоксилатними комплексами, %: N (азот) – 4,0, Zn (цинк) – 3,1, Mg (магній) – 2,5, Fe (залізо) – 2,0, Mn (марганець) – 1,78, Cu (мідь) – 0,75, B (бор) – 0,5. Основні переваги мікродобрива Мікро-Мінераліс Кукурудза демонструє рис. 2.17.

Позакореневі підживлення у досліді проводили двічі: у фазу утворення 3–5 справжніх листків, коли починається формування генеративних органів, що визначають майбутній рівень урожайності (порушення мінерального живлення у цей період практично не компенсується на подальших етапах органогенезу) та у фазу 7–9 листків, коли формується озерненість качанів.

Мікродобрива у досліді використовували у таких дозах:

- Аміно Ультра Кукурудза – 0,75 кг/га;
- Мікро-Мінераліс Кукурудза – 1,5 л/га.

Норма витрати робочого розчину – 300 л/га.

	Формула спеціально розроблена з урахуванням потреб кукурудзи у мікроелементах.
	Всі мікроелементи представлені у хелатній формі, що забезпечує швидке та ефективне засвоєння.
	Гліцин, як основна амінокислота, підвищує біодоступність елементів і знижує стресові навантаження.
	Цинк (60 г/л) – найважливіший елемент для формування генеративних органів, активного росту і гормонального балансу рослин.
	Залізо та марганець підтримують активний фотосинтез і енергетичний обмін у клітинах.
	Бор сприяє ефективному запиленню та формуванню качанів.
	Мідь (Cu) має важливе значення у синтезі лігніну, що зміцнює клітинні стінки та підвищує стійкість рослин до вилягання і проникнення патогенів.
	Молібден (Mo) бере участь у перетворенні нітратів у амоній, що важливо для ефективного азотного живлення, особливо в умовах високого азотного фону.

Рис. 2.15. Особливості мікродобрива Аміно Ультра Кукурудза



Рис. 2.16. Переваги застосування мікродобрива Аміно Ультра Кукурудза



Поверхневий електричний заряд активних частинок металів забезпечує відмінне прилипання до поверхонь і швидке їх проникнення у клітини рослин.



До складу мікродобрива входить комплекс мікроелементів без сторонніх домішок, які не створюють фітотоксичного впливу на рослину та повністю нею засвоюються.



Позакореневі підживлення забезпечують рослини необхідними мікроелементами у критичні фази розвитку, сприяють зниженню стресового навантаження після застосування ЗЗР, збільшують урожайність на 10–20% та покращують якість зерна.

Рис. 2.17. Переваги мікродобрива Мікро-Мінераліс Кукурудза

Під час проведення досліджень здійснювали спостереження, обліки та необхідні розрахунки відповідно до чинних методичних рекомендацій та вимог ДСТУ [27, 29, 32, 33].

Фенологічний розвиток рослин встановлювали органолептичним (візуальним) методом, фіксуючи настання основних фаз – від появи сходів до повної стиглості зерна. Початком фази вважали момент, коли в ній перебувало близько 10% рослин, повну фазу фіксували, коли в ній перебувало 75% рослин від загальної кількості.

Площу листкової поверхні визначали лінійним методом шляхом вимірювання довжини і ширини листків. На кожній рослині підраховували кількість листків, відбирали листки (по 10 рослин у двох повторностях), визначали площу листкової пластинки в см^2 та перераховували її на одиницю площі (тис. $\text{м}^2/\text{га}$). Розрахунок площі окремого листка здійснювали за формулою (2.1):

$$S = k \cdot l \cdot n, \quad (2.1)$$

де S – площа одного листка, см^2 ;

k – середній поправочний коефіцієнт (для рослин кукурудзи – 0,75);

l – довжина листка, см ;

n – ширина листка у найбільш широкому місці, см .

Фотосинтетичний потенціал розраховували за формулою (2.2):

$$\Phi\Pi = \frac{(\Pi_1 + \Pi_2) \cdot n_1 + (\Pi_2 + \Pi_3) \cdot n_2 + \dots (\Pi_{n-1} + \Pi_n) \cdot n_n}{2}, \text{ де} \quad (2.2)$$

$\Phi\Pi$ – фотосинтетичний потенціал, м²/га за добу;

$\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3 \dots \Pi_n$ – площа листків на 1 га посіву у відповідні строки визначення, м²/га;

$n_1, n_2 \dots n_n$ – кількість діб між двома відповідними визначеннями.

Чисту продуктивність фотосинтезу розраховували за формулою (2.3):

$$\text{ЧПФ} = \frac{B_2 - B_1}{\frac{\Pi_1 + \Pi_2}{2} \cdot T}, \text{ де} \quad (2.3)$$

ЧПФ – чиста продуктивність фотосинтезу, г/см² за добу;

B_1, B_2 – маса сухої речовини з 1 м² на початку та в кінці облікового проміжку часу, г;

Π_1, Π_2 – площа листової поверхні з 1 м² на початку та кінці облікового проміжку часу, м²;

T – кількість діб між першим та другим визначенням.

Для визначення накопичення абсолютно сухої надземної маси застосовували ваговий метод: відбирали по 10 типових для гібриду рослин, які після висушування зважували.

Сумарне водоспоживання встановлювали розрахунковим методом, враховуючи зміну запасів ґрунтової вологи в шарі ґрунту 0–100 см та кількість атмосферних опадів. Обчислення проводили за загальноприйнятою формулою водного балансу з урахуванням початкових і кінцевих запасів вологи, а також втрат на непродуктивне випаровування. Розрахунок проводили за формулою (2.4):

$$\sum E = M + O + (W_n - W_y), \text{ де} \quad (2.4)$$

$\sum E$ – сумарне водоспоживання, мм;

M – зрошувальна норма, мм;

O – корисні опади, мм;

W_n – запас води у шарі ґрунту 0–100 см на час сівби, мм;

W_y – запас води у шарі ґрунту 0–100 см на час збирання, мм.

Коефіцієнт водоспоживання визначали шляхом розрахунку співвідношення сумарного водоспоживання до фактичної врожайності зерна, користуючись формулою (2.5):

$$K_v = \sum E / Y, \text{ де} \quad (2.5)$$

K_v – коефіцієнт водоспоживання, м³/т;

$\sum E$ – сумарне водоспоживання, м³/га;

Y – урожайність зерна кукурудзи, т/га.

Вологість зерна на момент збирання визначали лабораторним способом відповідно до вимог чинних стандартів: частину зразка піддавали висушуванню до постійної маси та розраховували вміст води за різницею маси до і після висушування.

Вихід зерна встановлювали шляхом обмолоту пробних качанів, визначення маси отриманого зерна та співвідношення її до загальної маси качанів. Результат виражали у відсотках.

Масу 1000 зерен визначали у відповідності до Державного стандарту України ДСТУ 4138–2002 «Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості» [34].

Урожайність зерна враховували з кожного варіанту дослідів всіх повторностей з наступним перерахунком на 100% чистоту і стандартну вологість.

Вміст сирого протеїну (загального азоту) у зерні кукурудзи визначали за методом К'ельдаля згідно з вимогами ДСТУ 4138–2002 «Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості» [34]. Даний метод ґрунтується на триетапній процедурі кількісного визначення азоту: мінералізації, дистиляції та титруванні. Кількісний вміст азоту в зерні перераховували на вміст сирого протеїну шляхом множення на загальноприйнятий коефіцієнт перерахунку 6,25 для зернових культур.

Вміст сирого жиру у зерні кукурудзи визначали екстракційно-ваговим

методом Сокслета згідно з вимогами ДСТУ ISO 6492:2003 [35]. Методика базувалася на вилученні ліпідів органічним розчинником (петролейний ефір/гексан) та подальшим гравіметричним визначенням маси екстрагованої речовини після відгонки розчинника.

Умовний вихід сирого протеїну та олії з гектару посівів визначали розрахунковим методом: урожайність зерна, перераховану на стандартну вологість, множили відповідно на фактичний вміст сирого протеїну або жиру в зерні та ділили на 100.

Статистичну обробку отриманих врожайних даних здійснювали із використанням стандартних інструментів Microsoft Office Excel та програмного комплексу Agrostat [27]. Для оцінювання сили взаємозв'язку між досліджуваними параметрами обчислювали коефіцієнти кореляції та інтерпретували їх згідно зі шкалою Чеддока [123].

Економічну ефективність технологічних варіантів вирощування кукурудзи у досліді визначали на основі технологічних карт, складених відповідно до схеми досліду, з урахуванням ринкових цін, що сформувалися восени 2025 р., орієнтуючись на методичні положення Пивовара В. С. та співавторів [74, 75].

Енергетичну ефективність елементів технології вирощування кукурудзи розраховували за методикою, запропонованою Медведовським О. К. та Іваненком П. І. [73], із використанням довідкових енергетичних еквівалентів, наведених у науково-практичному довіднику Черенкова А. В. та ін. [84].

2.4. Агротехніка у польовому досліді

Агротехніка вирощування кукурудзи на зерно у досліді, за винятком факторів, узятих на вивчення, була загальноприйнятою для умов Північного Степу України. Попередником була пшениця озима, після збирання якої поле двічі дискували – на глибину 8–10 та 10–12 см. У подальшому, за появи бур'янів, проводили культивування. Основний обробіток ґрунту здійснювали на

глибину 20–22 см із одночасним внесенням азотно-фосфорного добрива у дозі $N_{60}P_{30}$. Із азотних добрив використовували аміачну селітру ($N - 34\%$), із фосфорних – гранульований суперфосфат ($P_2O_5 - 20\%$). Для вирівнювання поверхні ґрунту восени проводили суцільну культивуацію із боронуванням.

До весняних робіт приступали з настанням фізичної стиглості ґрунту. Вони включали боронування важкими зубовими боролами та передпосівну культивуацію. Під передпосівну культивуацію вносили $N_{30}P_{30}K_{30}$ у вигляді нітроамофоски (2 ц/га).

Сівбу проводили пунктирним способом, забезпечуючи рівномірне розміщення насіння в рядках. Глибина загортання насіння становила 5–6 см, ширина міжрядь – 70 см. Норма висіву залежала від варіанту дослідів за фактором В (густота стояння рослин).

У фазу 5–7 листків здійснювали міжрядний обробіток ґрунту з метою знищення бур'янів та покращення аерації. Позакореневі підживлення мікродобривами проводили у визначені дослідною схемою строки.

Збирання врожаю проводили у фазу повної стиглості зерна шляхом суцільного обмолоту облікових ділянок зернозбиральним комбайном.

Висновки до розділу 2

1. Чорнозем звичайний малогумусний глибокий дослідного поля ТОВ АФ «Агротехнологія-Плюс», що репрезентує ґрунтові умови Північного Степу України, за сукупністю морфологічних, фізичних та агрохімічних показників характеризується високим природним потенціалом і здатністю забезпечувати формування сталої продуктивності кукурудзи на зерно. Оптимальна щільність складення та шпаруватість створюють сприятливі умови для повітро- та водопроникності, що є важливим у зоні з дефіцитом вологи. Нейтральна реакція ґрунтового розчину та значна ємність катіонного обміну, поєднана з високим насиченням кальцієм, забезпечують добру буферність і здатність ґрунту утримувати поживні елементи, що сприяє сталому забезпеченню рослин мінеральним живленням упродовж вегетації. Структура та мінералогічний

склад ґрунту формують умови, сприятливі для інтенсивного розвитку кореневої системи та ефективної реалізації фотосинтетичного потенціалу кукурудзи. Сукупність зазначених характеристик доводить, що ґрунти дослідної ділянки здатні забезпечувати високий рівень продуктивності гібридів кукурудзи різних груп ФАО, навіть за умов континентального клімату з періодичними проявами посухи, що робить їх придатними для довгострокового використання у виробничих і наукових цілях.

2. Кліматичні умови Північного Степу України загалом відповідають біологічним потребам кукурудзи, проте їх висока варіабельність і зростаючий дефіцит вологи суттєво впливають на формування врожайності та показників якості зерна. Виявлені контрасти погодних умов за роками досліджень позначились на рівні сформованої врожайності зерна вирощуваних у досліді гібридів кукурудзи різних груп ФАО, що доводить необхідність впровадження адаптивних елементів технології вирощування. Саме комплексна адаптація технологій до кліматичних реалій Північного Степу є вирішальною умовою забезпечення стабільної продуктивності кукурудзи в умовах сучасних кліматичних змін.

3. Обліки та спостереження за фазами росту і розвитку кукурудзи, фотосинтетичною активністю та водоспоживанням посівів, елементами структури врожаю, врожайністю та показниками якості зерна, а також розрахунки економічної та енергетичної ефективності технологічних заходів були проведені відповідно до поставленої мети та завдань дослідження, з урахуванням загальновизнаних методик польових експериментів, діючих рекомендацій і чинних Державних стандартів України.

4. Агротехнічні заходи вирощування кукурудзи у досліді відповідали загальноприйнятим підходам для ґрунтово-кліматичних умов Північного Степу України, за винятком тих елементів технології, які були предметом дослідження.

РОЗДІЛ 3

ФОТОСИНТЕТИЧНА ДІЯЛЬНІСТЬ ПОСІВІВ КУКУРУДЗИ ЗАЛЕЖНО ВІД ДОСЛІДЖУВАНИХ ФАКТОРІВ

Фотосинтез є основним чинником у формуванні продукційного процесу рослин, тому ефективне вирощування сільськогосподарських культур потребує ретельного вивчення структури та функціонування фотосинтетичного апарату протягом усього періоду вегетації. Саме внаслідок фотосинтетичних реакцій, які відбуваються за участі сонячної енергії, синтезується органічна речовина – основа енергетичних та трофічних зв'язків у біосфері. Близько 95% біомаси рослин утворюється саме в результаті цього процесу [58, 118]. На активність фотосинтезу впливають численні внутрішні та зовнішні фактори, які узагальнено представлено на рис. 3.1.



Рис. 3.1. Внутрішні та зовнішні фактори, які впливають на інтенсивність фотосинтезу рослин [93]

Одним із важливих абіотичних чинників, який визначає рівень фотосинтетичної активності рослин, є світлове випромінювання. В умовах різного освітлення рослини виробили здатність адаптуватися до певної інтенсивності світла. Коефіцієнт корисного засвоєння сонячної енергії (ККД) варіює в діапазоні від 1,1 до 6,3. Відповідно до узагальнених даних, листковий апарат може поглинати до 85% енергії фотосинтетично активної радіації (ФАР) у спектрі 400–700 нм і близько 25% інфрачервоного випромінювання, що сумарно становить майже 55% загальної сонячної енергії. При цьому безпосередньо на фотосинтез витрачається не більше 2% ФАР. Важливим показником, що визначає ефективність фотосинтезу, є точка світлової компенсації – рівень освітленості, за якого швидкість фотосинтезу врівноважується зі швидкістю дихання. Якщо рослина впродовж тривалого часу перебуває в умовах нижчих за цю межу, спостерігається перевага респіраційних витрат над синтезом, що призводить до розщеплення запасених речовин і в'янення. Зростання температури повітря активізує процес дихання, підвищуючи, відповідно, і точку світлової компенсації. Таким чином, зміна інтенсивності освітлення суттєво впливає на фотосинтетичну діяльність рослин [10, 205].

Основним джерелом вуглецю для утворення органічних сполук у рослині є вуглекислий газ, який надходить переважно з атмосфери, а частково – із ґрунтового повітря через кореневу систему. На початкових етапах підвищення вмісту CO_2 у повітрі інтенсивність фотосинтезу зростає досить стрімко, однак згодом темпи цього зростання уповільнюються і зрештою припиняються, що свідчить про досягнення вуглекислого насичення – стану, за якого концентрація вуглекислого газу в атмосфері становить 0,1–0,3% [10, 292].

Вода є важливою складовою фотосинтетичного процесу, вона здійснює як субстратну, так і регуляторну функції, є джерелом атомів гідрогену, необхідного для відновлення вуглекислого газу, бере участь у хімічних реакціях як субстрат, а також активує дію низки ферментів. Через транспіраційні процеси забезпечується терморегуляція рослинних тканин, а

також регулюється швидкість реакцій темної фази фотосинтезу. Для ефективного функціонування фотосинтезу оптимальний рівень води в клітинах становить 85–87%, при якому синтез органічних речовин переважає над їх розпадом. Найвищі показники фотосинтетичної активності спостерігаються за незначного водного дефіциту. Водночас, нестача води зумовлює закриття продихів, пригнічення фотосинтетичних процесів і зниження якості продукції внаслідок зміщення синтезу з сахарози та органічних кислот на прості цукри та амінокислоти. Надлишок води у клітинах також негативно впливає на фотосинтез, оскільки ускладнює дифузію CO_2 через водне середовище міжклітинного простору [26, 240, 276].

Таким чином, ефективність фотосинтетичної активності посівів визначається комплексом взаємопов'язаних факторів. Тому актуальним завданням є створення сприятливих умов для забезпечення рослин вологою та поживними речовинами, що сприятиме формуванню розвиненого та довготривалого функціонуючого листкового апарату агроценозу.

3.1. Вплив густоти стояння рослин та позакоренових підживлень мікродобривами на площу листкової поверхні гібридів кукурудзи різних груп ФАО

Основна частина (понад 90%) сухої речовини врожаю сільськогосподарських культур утворюється завдяки фотосинтезу – процесу, який відбувається переважно в листках під дією сонячного світла, за участі вуглекислого газу та води. Хоча основною фотосинтезуючою тканиною є листковий апарат, певна частка фотосинтетичної активності також спостерігається в інших зелених органах рослин, таких як стебла та генеративні органи [257].

Одним із ефективних способів підвищення фотосинтетичної активності посівів сільськогосподарських культур є збільшення площі листкового апарату. Найбільш продуктивною вважається листкова поверхня в межах 40–50 тис. м^2 на гектар [30, 257].

Формування площі листової поверхні кукурудзи є важливим елементом у забезпеченні ефективного фотосинтезу, який безпосередньо впливає на продуктивність культури [3]. Одним із факторів, що визначає параметри листового апарату, є густота стояння рослин. Оптимальна щільність посівів формує агроценоз, у якому поєднується високий індекс листової поверхні з максимальною здатністю поглинати сонячну радіацію без надмірного затінення рослин. За даними численних польових досліджень, зі зростанням густоти стояння рослин кукурудзи спостерігається тенденція до зменшення листової поверхні окремої рослини внаслідок внутрішньовидової конкуренції за світло, вологу та елементи мінерального живлення [142, 180, 234, 252, 260, 278]. Проте загальна площа листової поверхні на одиницю площі за певних умов зростає, досягаючи оптимального рівня для максимального поглинання ФАР. Перевищення оптимального рівня щільності посівів призводить до надмірного затінення нижніх ярусів листків, що знижує фотосинтетичну ефективність та прискорює старіння листового апарату [89, 90, 151, 267, 286].

Гібриди кукурудзи з добре розвиненими ознаками пластичності (вертикальне розміщення листків – еректоїдні листки, стійкість до затінення) краще адаптовані до підвищеної щільності посівів та здатні формувати високі показники площі листової поверхні протягом усього вегетаційного періоду [90, 83]. За результатами досліджень встановлено, що LAI (Leaf Area Index – індекс листової поверхні) до 4 є оптимальним для повного використання світлового ресурсу без суттєвих втрат від самозатінення [219].

Зниження густоти стояння рослин, навпаки, забезпечує формування більш потужної листової поверхні однієї рослини, проте у межах поля спостерігається зниження загальної фотосинтезуючої площі. Це часто призводить до менш повного використання ФАР та зниження рівня врожайності за умов, коли волога та елементи живлення не є обмежувальним чинником [151].

Позакореневі підживлення мікродобривами також є впливовим чинником у формуванні листової поверхні та загальної продуктивності. Застосування мікродобрив у критичні фази росту і розвитку сприяє активації ферментативних

процесів, покращенню обміну речовин і підвищенню індексу листкової поверхні [69, 107].

Особливо важливими для кукурудзи є такі мікроелементи, як цинк, бор, марганець і мідь. Цинк – важливий кофактор ферментів, який сприяє підвищенню врожайності до +17 % і концентрації Zn в зерні до +25 % [220]. Позакореневі підживлення Zn разом з Fe та Se активізують засвоєння рослинами мікроелементів та накопичення їх у зерні кукурудзи [277]. Комплексне використання Zn і B значно збільшує концентрацію Fe у листках та накопичення мікроелементів (Fe, Mn, Cu) у зерні [144]. Позакореневе внесення наночастинок ZnO і MnO сприяє збереженню зеленої листкової поверхні в умовах посухи, підтримує фотосинтетичну активність завдяки антиоксидантним властивостям і уповільнює процес старіння листків [190]. Оптимальні дози позакореневих підживлень Cu (100 г/га) підвищують вміст хлорофілу, площу листкової поверхні, масу качана, масу 1000 зерен і врожайність з подальшим токсичним ефектом за більших концентрацій [147].

Таким чином, оптимізація щільності посівів та позакореневі підживлення мікродобривами є важливими чинниками підвищення фотосинтетичної активності сучасних гібридів кукурудзи. Вони сприяють формуванню потужної листкової поверхні, покращенню обміну речовин та накопиченню мікроелементів у рослинах і зерні, підвищують урожайність, покращують якість зерна та адаптивність рослин до стресових умов.

За результатами проведених нами досліджень встановлено істотний вплив гібриду, густоти стояння рослин та позакореневих підживлень мікродобривами на формування площі листкової поверхні посівів кукурудзи [53]. Відповідно до отриманих даних, у мікростадії ВВСН 65 вона варіювала в межах 22,1–36,2 тис. м²/га (табл. 3.1).

Усереднені за факторами дані свідчать про істотні відмінності між досліджуваними гібридами кукурудзи за показником площі листкової поверхні, який знаходився в межах від 27,7 до 31,8 тис. м²/га (рис. 3.2). Найнижчі його значення сформували гібриди ДКС 5206 (ФАО 420) та ДКС 4109 (ФАО 320) –

27,7 та 27,8 тис. м²/га відповідно. Такий результат обумовлений як генетичними особливостями даних гібридів, так і їх менш вираженою адаптивною реакцією на елементи технології, зокрема густоту стояння рослин та позакореневі підживлення.

Таблиця 3.1

**Вплив досліджуваних факторів на площу листкової поверхні посівів
кукурудзи у мікростадії ВВСН 65 (фаза цвітіння)
(середнє за 2022–2024 рр.), тис. м²/га**

Гібрид (фактор А)	Густота стояння рослин, тис./га (фактор В)							
	55	60	65	70	75	80	90	110
Обробка водою – контроль (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	23,2	24,4	25,7	26,8	27,3	28,6	28,1	26,7
ДКС 4109 (ФАО 320)	22,1	23,4	24,6	25,5	26,0	27,3	26,7	25,2
ДКС 4391 (ФАО 350)	24,8	26,0	27,2	28,1	28,6	29,9	29,3	27,9
ДКС 4598 (ФАО 360)	25,1	26,3	27,5	28,4	28,9	30,2	29,6	28,1
ДКС 4712 (ФАО 370)	26,1	27,3	28,5	29,4	29,9	31,1	30,6	29,0
ДКС 5075 (ФАО 410)	23,2	24,4	25,7	26,8	27,3	28,6	28,1	26,7
ДКС 5206 (ФАО 420)	22,1	23,4	24,6	25,5	26,0	27,3	26,7	25,2
Аміно Ультра Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	27,5	28,9	30,6	31,5	32,0	33,3	32,8	31,2
ДКС 4109 (ФАО 320)	26,4	27,8	29,4	30,1	30,7	31,9	31,4	29,9
ДКС 4391 (ФАО 350)	29,3	30,4	32,1	32,9	33,3	34,7	34,1	32,5
ДКС 4598 (ФАО 360)	29,7	30,9	32,5	33,2	33,9	35,1	34,4	32,9
ДКС 4712 (ФАО 370)	30,8	31,9	33,7	34,5	35,0	36,2	35,6	33,8
ДКС 5075 (ФАО 410)	27,4	28,8	30,5	31,4	32,0	33,4	32,8	31,3
ДКС 5206 (ФАО 420)	26,2	27,7	29,2	30,0	30,6	31,9	31,3	29,6
Мікро-Мінераліс Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	26,3	27,6	29,3	30,0	30,5	31,8	31,5	30,0
ДКС 4109 (ФАО 320)	25,3	26,6	28,3	29,0	29,5	30,6	30,1	28,7
ДКС 4391 (ФАО 350)	28,0	29,2	30,8	31,5	31,8	33,3	32,9	31,3
ДКС 4598 (ФАО 360)	28,4	29,5	31,2	31,8	32,4	33,6	33,1	31,6
ДКС 4712 (ФАО 370)	29,4	30,4	32,2	32,9	33,3	34,7	34,1	32,3
ДКС 5075 (ФАО 410)	26,3	27,4	29,2	30,0	30,4	32,0	31,5	30,0
ДКС 5206 (ФАО 420)	25,1	26,5	28,0	28,7	29,3	30,5	30,1	28,1
НІР ₀₅ , тис. м ² /га								
2022 р.: А – 0,95; В – 1,18; С – 1,49; АВ – 1,37; АС – 1,95; ВС – 1,90; АВС – 2,15								
2023 р.: А – 0,91; В – 1,15; С – 1,44; АВ – 1,35; АС – 1,83; ВС – 1,79; АВС – 2,06								
2024 р.: А – 0,85; В – 1,10; С – 1,42; АВ – 1,29; АС – 1,78; ВС – 1,72; АВС – 1,95								

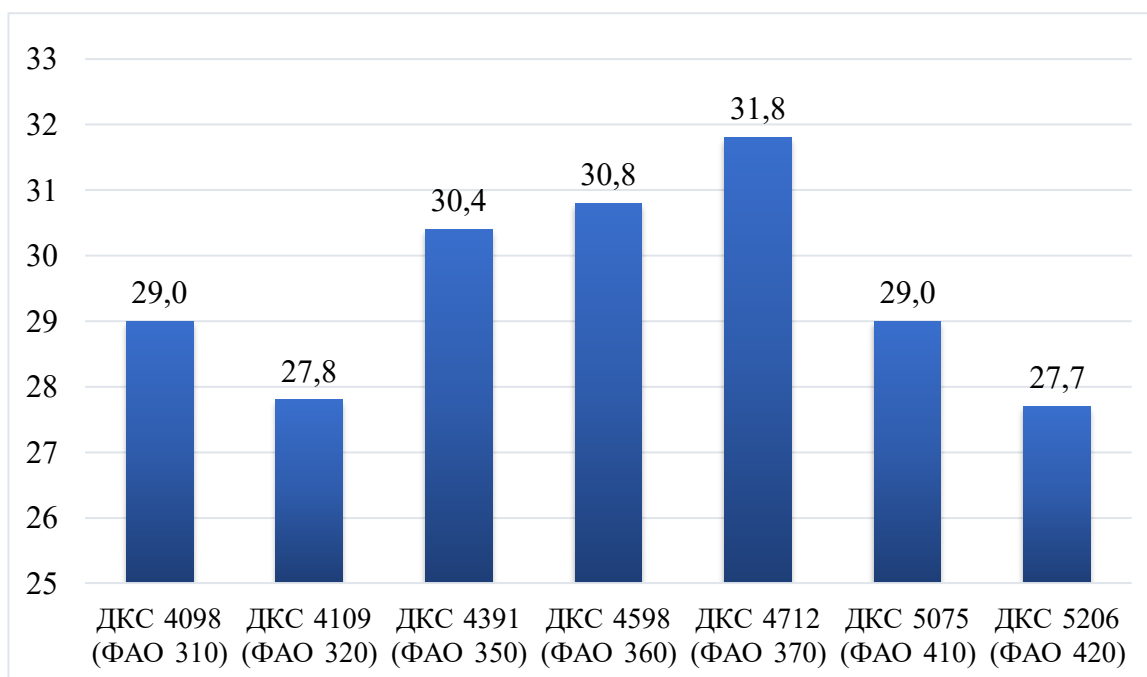


Рис. 3.2. Площа листкової поверхні гібридів кукурудзи у мікростадії ВВСН 65 у середньому за факторами В і С (середнє за 2022–2024 рр.), тис. м²/га

Максимальну площу листкової поверхні сформував гібрид ДКС 4712 (ФАО 370) – 31,8 тис. м²/га, що на 4,1 тис. м²/га перевищило показник гібрида ДКС 5206 (ФАО 420). Гібриди ДКС 4391 (ФАО 350) та ДКС 4598 (ФАО 360) також сформували досить високі показники площі листкової поверхні – 30,4 і 30,8 тис. м²/га відповідно, що вказує на їх високий потенціал для інтенсивних технологій вирощування.

Гібриди ДКС 4098 (ФАО 310) і ДКС 5075 (ФАО 410), попри істотну різницю в групі ФАО, мають однакові значення площі листкової поверхні (29,0 тис. м²/га), що свідчить про важливість не лише групи ФАО, а й генетичної пластичності гібридів.

За результатами досліджень встановлено, що густота стояння рослин є важливим елементом технології, який суттєво впливає на формування площі листкової поверхні посівів кукурудзи. Із загущенням посівів з 55 до 80 тис. рослин/га спостерігали поступове зростання площі асиміляційної поверхні, що зумовлено кращим використанням посівної поверхні та збільшенням кількості листків на одиниці площі (рис. 3.3).

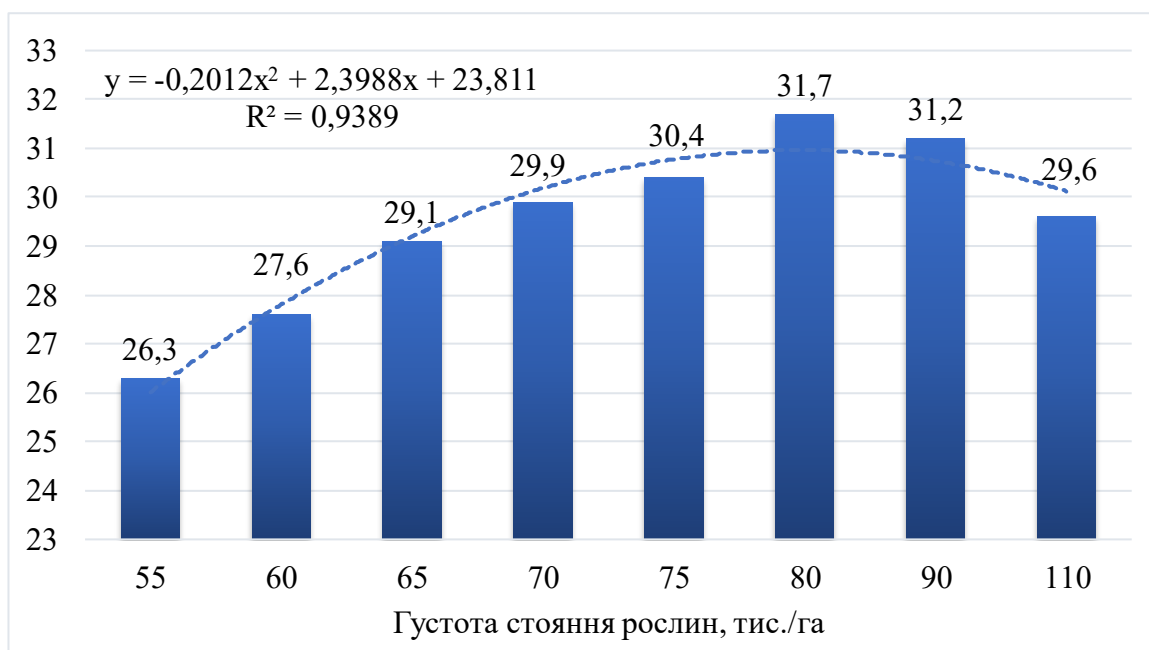


Рис. 3.3. Вплив густоти стояння рослин на площу листкової поверхні гібридів кукурудзи у мікростадії ВВСН 65 у середньому за факторами А і С (середнє за 2022–2024 рр.), тис. м²/га

Мінімальним значення показника визначено за густоти стояння рослин 55 тис./га – 26,3 тис. м²/га, максимальним – за густоти 80 тис./га – 31,7 тис. м²/га. Це свідчить про позитивну кореляцію між нормою висіву та сумарною листковою поверхнею на гектар у межах оптимального діапазону.

Проте подальше збільшення густоти стояння до 90 і 110 тис./га супроводжувалося зниженням площі листкової поверхні до 31,2 та 29,6 тис. м²/га відповідно, що обумовлюється посиленням конкуренції рослин за світло, воду та поживні речовини, затіненням нижніх ярусів листків і зменшенням загальної ефективності фотосинтезу.

Таким чином, оптимальною густотою стояння рослин для досягнення максимальної площі листкової поверхні є 80 тис./га, що може бути важливим показником для оптимізації структури посівів кукурудзи у зоні досліджень. Отримані результати свідчать про наявність нелінійного зв'язку між густотою стояння рослин та площею листкової поверхні. Надмірне загущення посівів призводить до зменшення асиміляційної поверхні, тоді як збільшення густоти стояння рослин до певної межі сприяє більш оптимальному формуванню

листяного апарату. За результатами досліджень обґрунтовано необхідність ретельного добору густоти стояння рослин з урахуванням біологічних особливостей гібридів кукурудзи та умов вирощування.

Отримані експериментальні дані засвідчують суттєвий вплив позакоренових підживлень мікродобривами на формування листяного апарату кукурудзи. У мікростадії ВВСН 65 площа листяної поверхні у варіанті з обробкою посівів водою (контроль) становила 26,8 тис. м²/га, що характеризує базовий рівень розвитку рослин за умов традиційної технології вирощування.

Застосування мікродобрив дозволило істотно підвищити інтенсивність розвитку асиміляційної поверхні. Найбільшу ефективність забезпечили позакоренові підживлення мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза, у середньому за факторами площа листяної поверхні зросла до 31,5 тис. м²/га, що на 4,7 тис. м²/га (або 17,5%) перевищило контрольний варіант дослідів. Це свідчить про високий біологічний потенціал даного мікродобрива та його здатності стимулювати фотосинтетичні процеси рослин.

Варіант із використанням мікродобрива Мікро-Мінераліс Кукурудза забезпечив дещо нижчий, але також достовірно більший від контролю показник площі листяної поверхні – 30,1 тис. м²/га (+3,3 тис. м²/га або 12,3% до контролю).

Найвищими значення площі листяної поверхні рослин кукурудзи у досліді формували гібрид ДКС 4712 (ФАО 370) за густоти стояння рослин 80 тис./га з проведенням двох позакоренових підживлень мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза – 36,2 тис. м²/га.

Результати дисперсійного аналізу засвідчують комплексну залежність формування асиміляційної поверхні посівів кукурудзи від взаємодії досліджуваних факторів. Загальна варіація площі листяної поверхні на 95,5% залежить від досліджуваних факторів та їх взаємодії, що вказує на високу достовірність моделі, тоді як лише 4,5% припадає на інші (неконтрольовані) фактори, включно з природнім агрофоном, погодними умовами та похибкою визначень (рис. 3.4).

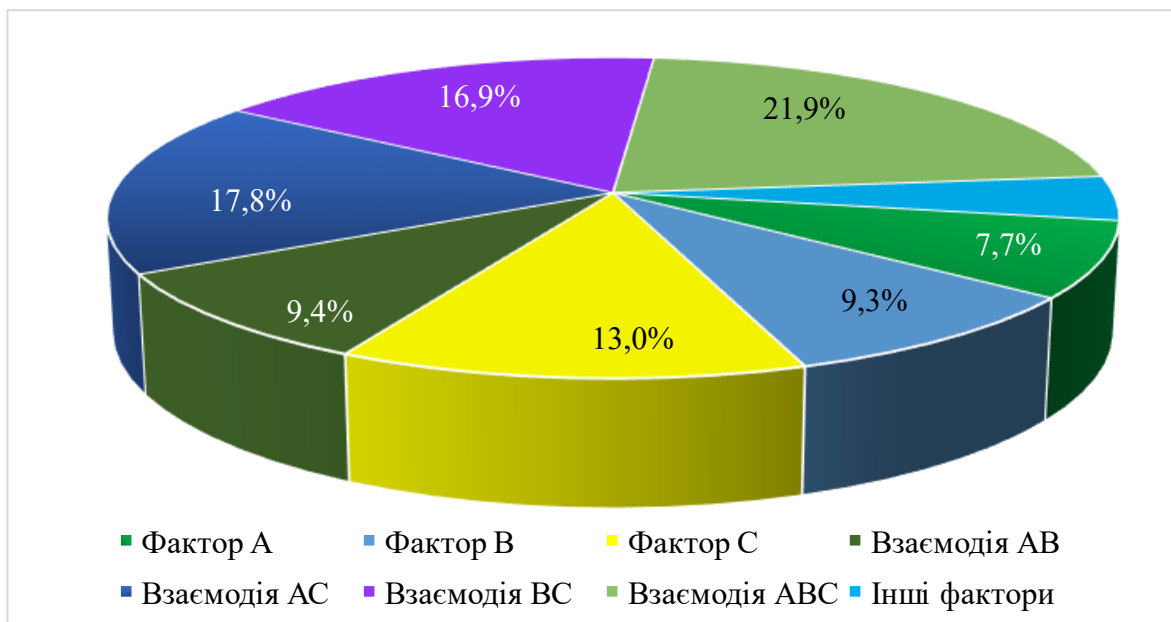


Рис. 3.4. Частка впливу досліджуваних факторів на формування площі листкової поверхні посівами кукурудзи (середнє за 2022–2024 рр.), %

Найбільшу частку варіації становить трикомпонентна взаємодія $A \times B \times C$ (21,9%), що свідчить про тісну залежність формування листкового апарату від комплексного впливу гібриду (фактор А), густоти стояння рослин (фактор В) та позакоренових підживлень мікродобривами (фактор С). Це обґрунтовує необхідність комплексного підходу до розробки технологій вирощування, орієнтованих на оптимізацію асиміляційної поверхні.

Вагомими визначено і двохфакторні взаємодії, зокрема $A \times C$ (17,8%) та $B \times C$ (16,9%), які свідчать про диференційовану реакцію гібридів та густоти стояння рослин на застосування мікродобрив, що показує залежність ефективності позакоренових підживлень як від біологічних особливостей гібридів, так і від щільності їх розміщення у посіві.

Фактори А, В і С були менш впливовими, але вносили достовірну частку у загальну варіацію. Це свідчить про те, що жоден із факторів не може забезпечити максимальний ефект ізольовано – їх оптимальне поєднання має найбільш виражений вплив на розвиток листкової поверхні рослин.

Між урожайністю зерна та площею листкової поверхні кукурудзи встановлено сильний і дуже сильний кореляційний зв'язок: $R^2 = 0,8118-0,8621$

(рис. 3.5) для густоти стояння рослин та $R^2 = 0,9163\text{--}0,9856$ (рис. 3.6) для гібридів марки DEKALB.

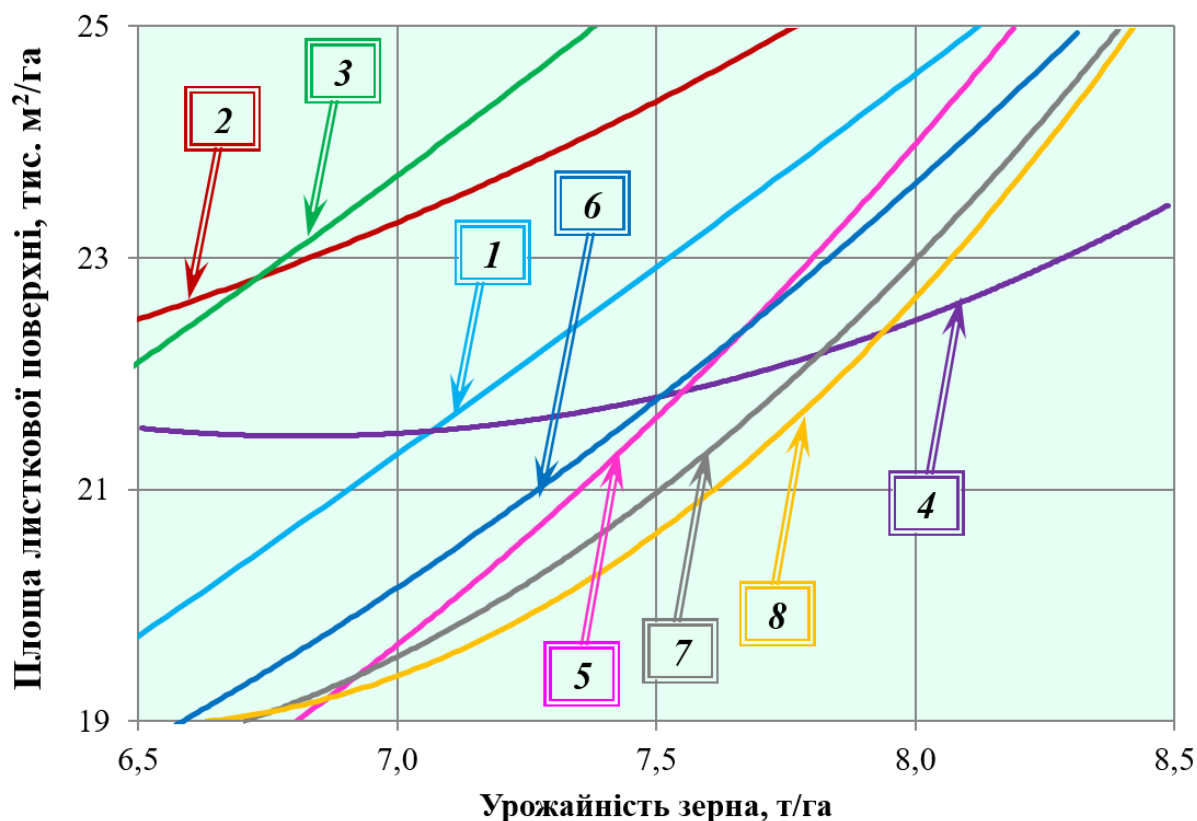


Рис. 3.5. Кореляційно-регресійна залежність між урожайністю зерна кукурудзи та площею листової поверхні посівів за різної густоти стояння рослин (середнє за 2022–2024 рр.):

- 1 – 55 тис./га: $y = 0,0964x^2 + 1,8372x + 3,7137$; $R^2 = 0,8153$;
- 2 – 60 тис./га: $y = 0,4105x^2 - 3,8665x + 30,273$; $R^2 = 0,8142$;
- 3 – 65 тис./га: $y = 0,1569x^2 + 0,7366x + 11,001$; $R^2 = 0,8463$;
- 4 – 70 тис./га: $y = 0,6549x^2 - 8,2205x + 51,806$; $R^2 = 0,8118$;
- 5 – 75 тис./га: $y = 1,2373x^2 - 17,54x + 89,318$; $R^2 = 0,8515$;
- 6 – 80 тис./га: $y = 1,9787x^2 - 35,89x + 129,33$; $R^2 = 0,8621$;
- 7 – 90 тис./га: $y = 0,6142x^2 - 6,7459x + 45,298$; $R^2 = 0,8234$;
- 8 – 110 тис./га: $y = 2,1794x^2 - 32,061x + 144,86$; $R^2 = 0,8547$.

Про тісний кореляційний зв'язок та істотний вплив площі листової поверхні на врожайність зерна кукурудзи повідомляють й інші дослідники [166].

Таким чином, за результатами досліджень встановлено суттєвий вплив гібриду, густоти стояння рослин і позакоренових підживлень мікродобривами на формування площі листової поверхні посівів кукурудзи. Поєднання зазначених факторів забезпечує найбільш оптимальний розвиток асиміляційної

поверхні рослин кукурудзи. Найвищі значення даного показника (36,2 тис. м²/га) забезпечив гібрид ДКС 4712 (ФАО 370) за густоти стояння рослин 80 тис./га з дворазовим підживленням посівів мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза.

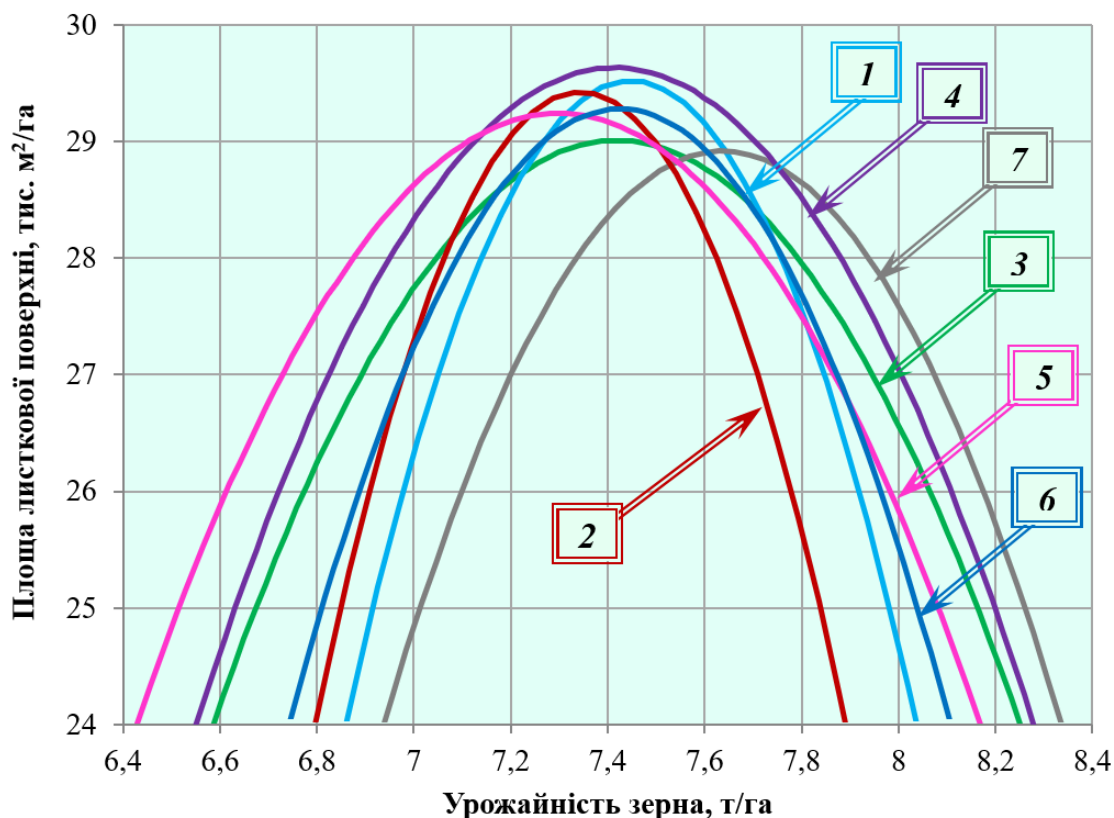


Рис. 3.6. Кореляційно-регресійна залежність між урожайністю зерна кукурудзи та площею листкової поверхні досліджуваних гібридів (середнє за 2022–2024 рр.):

- 1 – ДКС 4098 (ФАО 310): $y = -19,31x^2 + 296,66x - 1165$; $R^2 = 0,9623$;
- 2 – ДКС 4109 (ФАО 320): $y = -34,703x^2 + 536,7x - 2048,5$; $R^2 = 0,9682$;
- 3 – ДКС 4391 (ФАО 350): $y = -7,2275x^2 + 107,24x - 368,79$; $R^2 = 0,9774$;
- 4 – ДКС 4598 (ФАО 360): $y = -11,109x^2 + 157,88x - 530,98$; $R^2 = 0,9163$;
- 5 – ДКС 4712 (ФАО 370): $y = -4,7013x^2 + 69,434x - 226,25$; $R^2 = 0,9856$;
- 6 – ДКС 5075 (ФАО 410): $y = -41,15x^2 + 627,65x - 2418,8$; $R^2 = 0,9261$;
- 7 – ДКС 5206 (ФАО 420): $y = -10,261x^2 + 152,86x - 542,83$; $R^2 = 0,9585$.

Рекомендується впровадження комплексного підходу з урахуванням взаємодії факторів для підвищення продуктивності посівів кукурудзи у Північному Степу України. Між площею листкової поверхні рослин та врожайністю зерна кукурудзи встановлено сильний і дуже сильний кореляційний зв'язок: $R^2 = 0,8118$ – $0,9856$.

3.2. Фотосинтетичний потенціал посівів кукурудзи за впливу досліджуваних факторів

Рівень урожайності кукурудзи обумовлюється не лише розміром листової поверхні, а й періодом її активного функціонування впродовж вегетації. Тому для об'єктивної оцінки інтенсивності фотосинтетичних процесів доцільно використовувати такий показник, як фотосинтетичний потенціал. Він є важливим критерієм, який відображає загальну фотосинтетичну активність посівів і визначає рівень продуктивності культури [9, 42, 57, 64]. Фотосинтетичний потенціал тісно пов'язаний з площею асиміляційної поверхні та розраховується як сума площі листової поверхні на гектар посівів, акумульованої за певний проміжок часу або впродовж усього вегетаційного періоду. Він відображає як просторові, так і часові складові активності функціонування листового апарату, що є базовою основою для оцінки фотосинтетичної діяльності культури [199].

Для кукурудзи повноцінними вважаються посіви, фотосинтетичний потенціал яких досягає щонайменше 2,0–2,5 млн м² • діб/га за вегетаційний період. Такий рівень забезпечується в умовах оптимального формування площі листової поверхні (35–45 тис. м²/га) протягом активної вегетації та високої фотосинтетичної активності листової поверхні посівів [96].

Результати проведених розрахунків показали, що фотосинтетичний потенціал посівів кукурудзи значно залежав від факторів, узятих на дослідження (табл. 3.2).

Найвищий фотосинтетичний потенціал (1,74 млн м² за добу/га) сформував гібрид ДКС 4712 (ФАО 370), що свідчить про його високий потенціал до формування асиміляційної поверхні протягом вегетації (рис. 3.7). Гібриди ДКС 4598 (ФАО 360) та ДКС 4391 (ФАО 350) також забезпечили високі значення фотосинтетичного потенціалу – 1,66 та 1,62 млн м² за добу/га відповідно, що засвідчує інтенсивну динаміку наростання їх листового апарату.

Найнижчі значення фотосинтетичного потенціалу забезпечили гібриди ДКС 4109 (ФАО 320) та ДКС 4098 (ФАО 310) – 1,43 і 1,47 млн м² за добу/га, що обумовлено більш ранніми термінами їх дозрівання та менш інтенсивною реакцією на агротехнічні заходи.

Таблиця 3.2

Фотосинтетичний потенціал посівів кукурудзи залежно від досліджуваних факторів (середнє за 2022–2024 рр.), млн м² за добу/га

Гібрид (фактор А)	Густота стояння рослин, тис./га (фактор В)							
	55	60	65	70	75	80	90	110
Обробка водою – контроль (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	1,16	1,24	1,30	1,38	1,40	1,48	1,42	1,37
ДКС 4109 (ФАО 320)	1,13	1,18	1,25	1,33	1,35	1,41	1,38	1,30
ДКС 4391 (ФАО 350)	1,29	1,38	1,45	1,50	1,53	1,62	1,58	1,51
ДКС 4598 (ФАО 360)	1,36	1,39	1,47	1,54	1,57	1,65	1,63	1,52
ДКС 4712 (ФАО 370)	1,42	1,47	1,56	1,62	1,66	1,73	1,67	1,59
ДКС 5075 (ФАО 410)	1,26	1,32	1,39	1,49	1,50	1,59	1,58	1,46
ДКС 5206 (ФАО 420)	1,21	1,29	1,35	1,39	1,44	1,50	1,49	1,38
Аміно Ультра Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	1,39	1,43	1,54	1,60	1,60	1,68	1,67	1,59
ДКС 4109 (ФАО 320)	1,34	1,44	1,52	1,55	1,58	1,65	1,62	1,53
ДКС 4391 (ФАО 350)	1,54	1,63	1,71	1,77	1,77	1,86	1,82	1,75
ДКС 4598 (ФАО 360)	1,60	1,66	1,76	1,77	1,82	1,89	1,84	1,78
ДКС 4712 (ФАО 370)	1,66	1,72	1,81	1,89	1,92	1,99	1,96	1,82
ДКС 5075 (ФАО 410)	1,48	1,56	1,68	1,72	1,78	1,85	1,79	1,70
ДКС 5206 (ФАО 420)	1,44	1,50	1,62	1,64	1,67	1,75	1,73	1,62
Мікро-Мінераліс Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	1,33	1,38	1,48	1,54	1,56	1,64	1,59	1,53
ДКС 4109 (ФАО 320)	1,29	1,36	1,46	1,51	1,51	1,60	1,55	1,49
ДКС 4391 (ФАО 350)	1,50	1,54	1,63	1,67	1,69	1,78	1,78	1,69
ДКС 4598 (ФАО 360)	1,53	1,60	1,70	1,74	1,75	1,85	1,79	1,72
ДКС 4712 (ФАО 370)	1,61	1,67	1,75	1,81	1,83	1,90	1,86	1,76
ДКС 5075 (ФАО 410)	1,44	1,52	1,63	1,66	1,69	1,78	1,74	1,65
ДКС 5206 (ФАО 420)	1,38	1,46	1,56	1,58	1,65	1,69	1,67	1,55

Гібриди ДКС 5075 (ФАО 410) і ДКС 5206 (ФАО 420) забезпечили фотосинтетичний потенціал на рівні 1,59 і 1,52 млн м² за добу/га, що свідчить про їх відносну стабільність, проте не максимальну ефективність щодо

формування асиміляційного апарату.

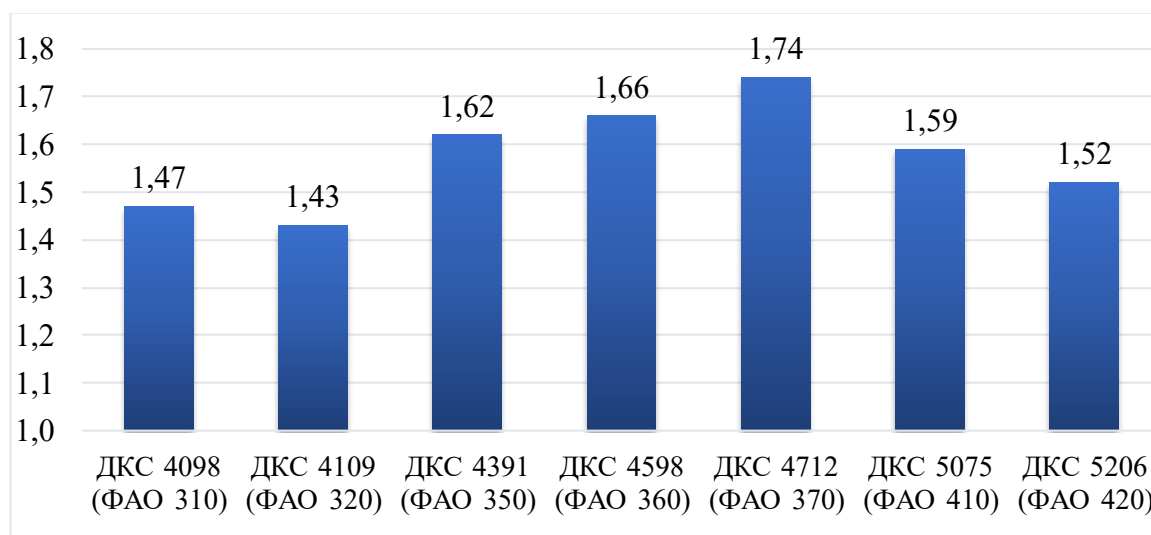


Рис. 3.7. Фотосинтетичний потенціал посівів гібридів кукурудзи у середньому за факторами В і С (середнє за 2022–2024 рр.), млн м² за добу/га

Отже, фотосинтетичний потенціал досліджуваних гібридів кукурудзи показує чітку залежність від генетичних особливостей та групи ФАО. Найефективніше формування асиміляційної поверхні у досліді забезпечили гібриди з ФАО 350–370, які поєднували інтенсивне наростання листкової поверхні з достатньою тривалістю вегетаційного періоду.

Незалежно від гібриду і позакоренових підживлень мікродобривами, відбувалося поступове зростання фотосинтетичного потенціалу зі збільшенням густоти стояння рослин з 55 до 80 тис./га (рис. 3.8). Подальше загушення посівів до 90–110 тис./га супроводжувалося зниженням або стабілізацією даного показника, що пов'язано зі зростанням конкуренції рослин за світло, вологу та елементи живлення.

За результатами досліджень встановлено істотний вплив позакоренових підживлень на показники фотосинтетичного потенціалу. Дворазова обробка посівів кукурудзи мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза забезпечила найвищий у досліді показник фотосинтетичного потенціалу – 1,68 млн м² за добу/га, що на 0,24 млн м² за добу/га або 16,7% перевищило контрольний варіант з обробкою посівів водою (рис. 3.9).

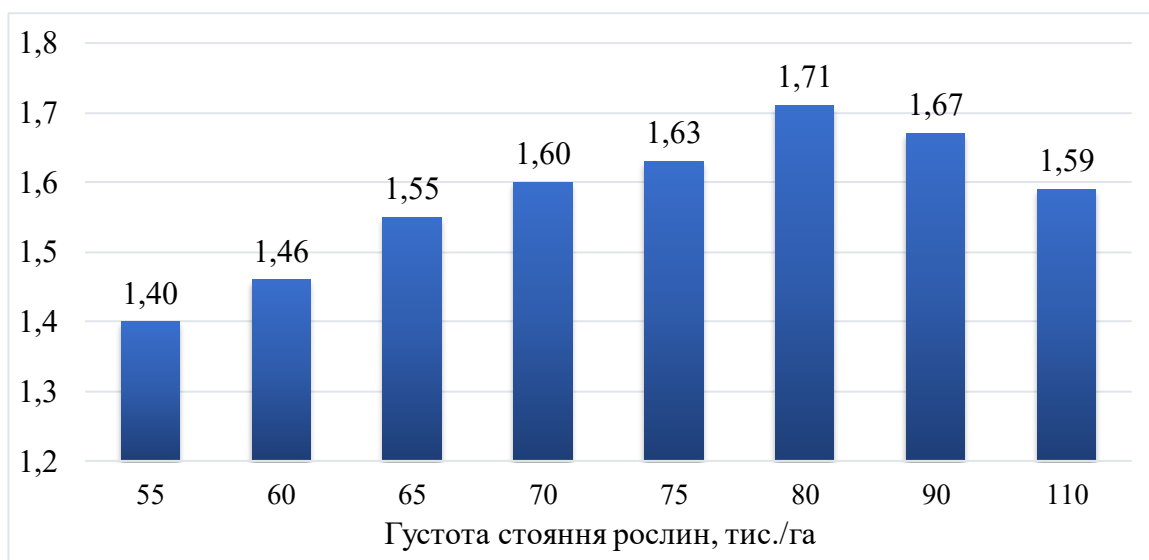


Рис. 3.8. Вплив густоти стояння рослин на фотосинтетичний потенціал посівів кукурудзи у середньому за факторами А і С (середнє за 2022–2024 рр.), млн м² за добу/га



Рис. 3.9. Вплив позакореневих підживлень мікродобривами на фотосинтетичний потенціал посівів кукурудзи у середньому за факторами А і В (середнє за 2022–2024 рр.), млн м² за добу/га

Позакореневі підживлення мікродобривом Мікро-Мінераліс Кукурудза забезпечили значення фотосинтетичного потенціалу на рівні 1,62 млн м² за добу/га, що на 0,18 млн м² за добу/га або 12,5% більше, ніж у контролі.

Максимальний у досліді фотосинтетичний потенціал забезпечив гібрид ДКС 4712 (ФАО 370) за густоти стояння рослин 80 тис./га з дворазовою обобкою посівів мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза – 1,99 млн м² за добу/га.

Між урожайністю зерна та фотосинтетичним потенціалом посівів кукурудзи встановлено сильний і дуже сильний кореляційний зв'язок, про що свідчать розраховані нами коефіцієнти кореляції: $R^2 = 0,8191\text{--}0,8587$ (рис. 3.10) для густоти стояння рослин та $R^2 = 0,9105\text{--}0,9710$ (рис. 3.11) для гібридів марки DEKALB.

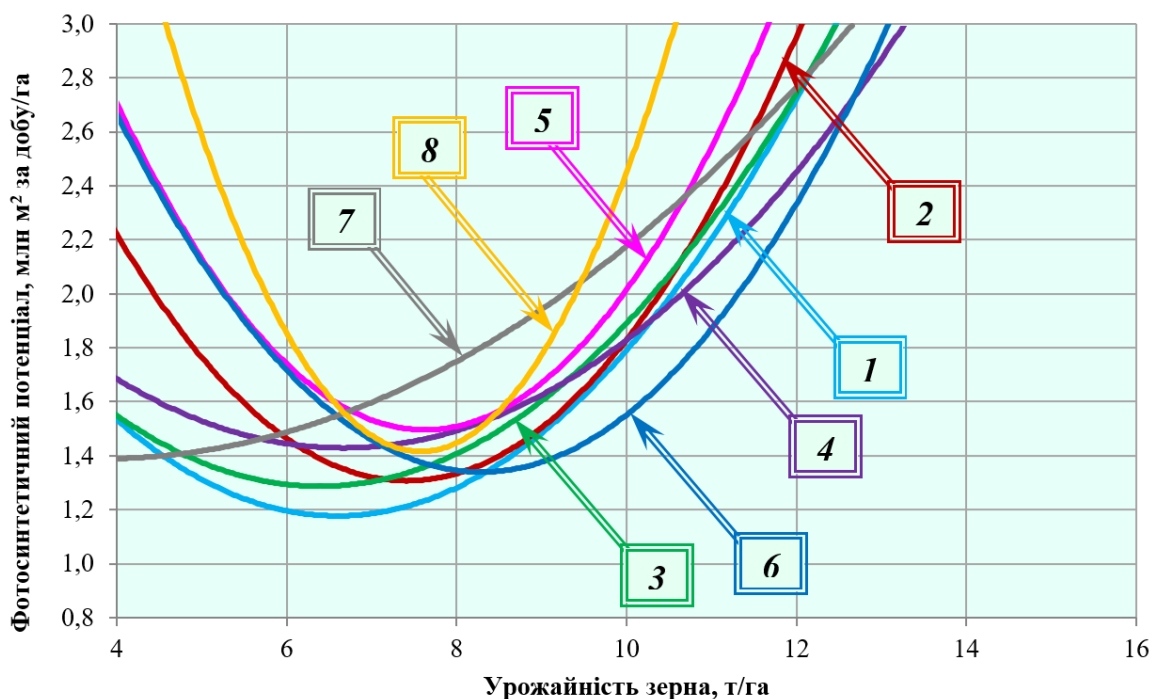


Рис. 3.10. Кореляційно-регресійна залежність між урожайністю зерна кукурудзи та фотосинтетичним потенціалом посівів за різної густоти стояння рослин (середнє за 2022–2024 рр.):

- 1 – 55 тис./га: $y = 0,0529x^2 - 0,6976x + 3,4779$; $R^2 = 0,8347$;
- 2 – 60 тис./га: $y = 0,0783x^2 - 1,1613x + 5,6172$; $R^2 = 0,8191$;
- 3 – 65 тис./га: $y = 0,0461x^2 - 0,5892x + 3,1749$; $R^2 = 0,8371$;
- 4 – 70 тис./га: $y = 0,0359x^2 - 0,4792x + 3,0372$; $R^2 = 0,8471$;
- 5 – 75 тис./га: $y = 0,092x^2 - 1,3977x + 6,7997$; $R^2 = 0,8587$;
- 6 – 80 тис./га: $y = 0,0507x^2 - 1,9708x + 7,0032$; $R^2 = 0,8549$;
- 7 – 90 тис./га: $y = 0,0147x^2 - 0,111x + 5,5876$; $R^2 = 0,8489$;
- 8 – 110 тис./га: $y = 0,0762x^2 - 2,6698x + 5,528$; $R^2 = 0,8375$.

Таким чином, за результатами досліджень встановлено, що фотосинтетичний потенціал посівів кукурудзи суттєво залежить від гібриду, густоти стояння рослин і позакоренових підживлень мікродобривами. Найвищі значення даного показника визначено за вирощування гібридів з ФАО 350–370, зокрема гібрид ДКС 4712 (ФАО 370) за оптимальної густоти стояння рослин

(80 тис./га) та дворазової обробки посівів мікродобрином Аміно Ультра Кукурудза забезпечив максимальний у досліді рівень фотосинтетичного потенціалу – 1,99 млн м² за добу/га.

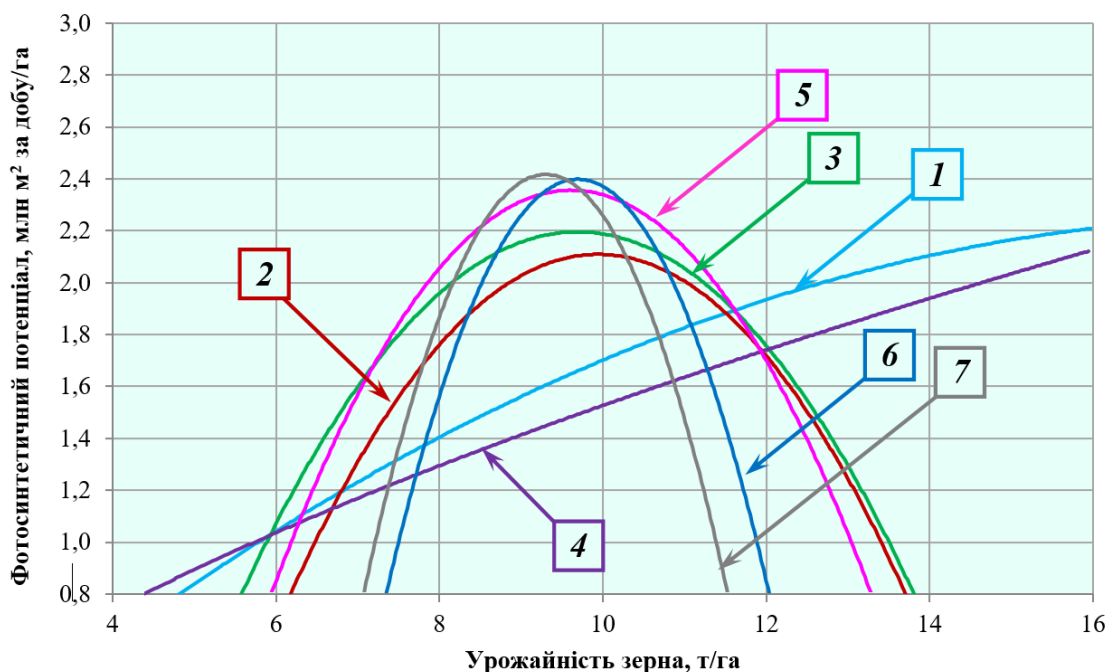


Рис. 3.11. Кореляційно-регресійна залежність між урожайністю зерна кукурудзи та фотосинтетичним потенціалом посівів досліджуваних гібридів (середнє за 2022–2024 рр.):

- 1 – ДКС 4098 (ФАО 310): $y = -0,008x^2 + 0,9924x - 1,4234$; $R^2 = 0,9148$;
- 2 – ДКС 4109 (ФАО 320): $y = -0,0549x^2 + 1,0934x - 3,8696$; $R^2 = 0,9584$;
- 3 – ДКС 4391 (ФАО 350): $y = -0,0216x^2 + 0,9356x - 2,0578$; $R^2 = 0,9618$;
- 4 – ДКС 4598 (ФАО 360): $y = -0,0059x^2 + 0,9244x - 1,0642$; $R^2 = 0,9105$;
- 5 – ДКС 4712 (ФАО 370): $y = -0,064x^2 + 1,591x - 2,3811$; $R^2 = 0,9710$;
- 6 – ДКС 5075 (ФАО 410): $y = -0,0532x^2 + 1,416x - 3,8190$; $R^2 = 0,9481$;
- 7 – ДКС 5206 (ФАО 420): $y = -0,067x^2 + 1,352x - 1,3358$; $R^2 = 0,9305$.

Збільшення густоти стояння рослин до 80 тис./га забезпечило зростання фотосинтетичного потенціалу, але подальше загущення посівів знижувало даний показник через посилену конкуренцію рослин. Позакореневі підживлення мікродобривами, особливо Аміно Ультра Кукурудза, істотно збільшували фотосинтетичний потенціал посівів кукурудзи. Між фотосинтетичним потенціалом і врожайністю зерна встановлено сильний і дуже сильний кореляційний зв'язок, що обґрунтовує значення даного показника як індикатора продуктивності посівів.

3.3. Вплив досліджуваних факторів на чисту продуктивність фотосинтезу

Ефективність функціонування фотосинтетичного апарату визначається не лише площею листової поверхні та фотосинтетичним потенціалом посівів. Важливим показником також є чиста продуктивність фотосинтезу, яка свідчить про приріст сухої біомаси рослин за одиницю часу з розрахунку на площу листової поверхні. Даний показник показує, скільки грамів сухої речовини утворюється на 1 м² листової поверхні за добу, і дозволяє більш точно оцінити ефективність використання асиміляційної поверхні в процесі росту та розвитку рослин [105, 154].

За результатами досліджень визначено, що впродовж вегетації відбувалося закономірне наростання біомаси рослин. У мікростадії ВВСН 17 суха надземна біомаса за варіантами досліду колилася в межах 1,82–3,09 т/га, а у мікростадії ВВСН 65 – 19,89–32,61 т/га (табл. 3.3), що свідчить про інтенсивність накопичення вегетативної біомаси рослинами кукурудзи у міжфазний період «7 листків – цвітіння», тобто період найвищої інтенсивності фотосинтезу, який є важливим з огляду на формування площі листової поверхні, фотосинтетичного потенціалу та репродуктивних органів. Після мікростадії ВВСН 65 починається природне старіння нижніх листків, що супроводжується зниженням чистої продуктивності фотосинтезу.

Таблиця 3.3

Накопичення абсолютно сухої надземної біомаси посівами кукурудзи (середнє за 2022–2024 рр.), т/га

Гібрид (фактор А)	Мікро- стадія за шкалою ВВСН	Густота стояння рослин, тис./га (фактор В)							
		55	60	65	70	75	80	90	110
<i>I</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
Обробка водою – контроль (фактор С)									
ДКС 4098 (ФАО 310)	ВВСН 17	1,96	2,09	2,18	2,26	2,28	2,43	2,34	2,32
	ВВСН 65	20,88	21,96	23,13	24,12	24,57	25,74	25,29	24,03
ДКС 4109 (ФАО 320)	ВВСН 17	1,93	1,94	2,12	2,15	2,20	2,38	2,15	2,03
	ВВСН 65	19,89	21,06	22,14	22,95	23,40	24,57	24,03	22,68

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ДКС 4391 (ФАО 350)	ВВСН 17	1,99	2,25	2,34	2,44	2,50	2,57	2,45	2,40
	ВВСН 65	22,32	23,40	24,48	25,29	25,74	26,91	26,37	25,11
ДКС 4598 (ФАО 360)	ВВСН 17	2,03	2,24	2,23	2,48	2,43	2,51	2,42	2,42
	ВВСН 65	22,59	23,67	24,75	25,56	26,01	27,18	26,64	25,29
ДКС 4712 (ФАО 370)	ВВСН 17	2,18	2,30	2,28	2,49	2,54	2,64	2,67	2,47
	ВВСН 65	23,49	24,57	25,65	26,46	26,91	27,99	27,54	26,10
ДКС 5075 (ФАО 410)	ВВСН 17	1,92	2,03	2,20	2,16	2,33	2,44	2,29	2,16
	ВВСН 65	20,88	21,96	23,13	24,12	24,57	25,74	25,29	24,03
ДКС 5206 (ФАО 420)	ВВСН 17	1,82	1,94	2,07	2,13	2,28	2,20	2,18	2,05
	ВВСН 65	19,89	21,06	22,14	22,95	23,40	24,57	24,03	22,68
Аміно Ультра Кукурудза (фактор С)									
ДКС 4098 (ФАО 310)	ВВСН 17	2,34	2,37	2,56	2,58	2,60	2,69	2,79	2,53
	ВВСН 65	24,82	26,04	27,53	28,42	28,85	30,08	29,52	28,13
ДКС 4109 (ФАО 320)	ВВСН 17	2,15	2,30	2,54	2,43	2,65	2,57	2,75	2,50
	ВВСН 65	23,82	25,04	26,55	27,12	27,64	28,77	28,38	26,88
ДКС 4391 (ФАО 350)	ВВСН 17	2,57	2,57	2,75	2,64	2,74	2,81	2,81	2,63
	ВВСН 65	26,43	27,41	28,87	29,63	30,05	31,22	30,68	29,21
ДКС 4598 (ФАО 360)	ВВСН 17	2,45	2,57	2,61	2,83	2,86	2,88	2,89	2,65
	ВВСН 65	26,74	27,82	29,23	29,89	30,53	31,61	31,02	29,58
ДКС 4712 (ФАО 370)	ВВСН 17	2,60	2,78	2,78	2,94	2,83	3,09	2,93	2,75
	ВВСН 65	27,72	28,71	30,35	31,04	31,52	32,61	32,02	30,37
ДКС 5075 (ФАО 410)	ВВСН 17	2,31	2,31	2,63	2,51	2,73	2,74	2,81	2,74
	ВВСН 65	24,72	25,88	27,42	28,32	28,84	30,12	29,51	28,22
ДКС 5206 (ФАО 420)	ВВСН 17	2,15	2,34	2,47	2,54	2,50	2,79	2,61	2,56
	ВВСН 65	23,61	24,87	26,35	27,02	27,51	28,73	28,26	26,59
Мікро-Мінераліс Кукурудза (фактор С)									
ДКС 4098 (ФАО 310)	ВВСН 17	2,25	2,27	2,53	2,49	2,65	2,68	2,74	2,56
	ВВСН 65	23,72	24,81	26,42	27,03	27,45	28,56	28,46	27,03
ДКС 4109 (ФАО 320)	ВВСН 17	2,16	2,23	2,48	2,46	2,46	2,59	2,41	2,36
	ВВСН 65	22,82	23,89	25,53	26,12	26,64	27,55	27,09	25,78
ДКС 4391 (ФАО 350)	ВВСН 17	2,39	2,40	2,61	2,63	2,57	2,74	2,78	2,65
	ВВСН 65	25,22	26,32	27,67	28,45	28,62	30,04	29,56	28,20
ДКС 4598 (ФАО 360)	ВВСН 17	2,40	2,51	2,65	2,65	2,81	2,78	2,76	2,75
	ВВСН 65	25,60	26,62	28,14	28,58	29,20	30,22	29,78	28,39
ДКС 4712 (ФАО 370)	ВВСН 17	2,54	2,60	2,60	2,87	2,85	3,04	2,77	2,80
	ВВСН 65	26,50	27,42	29,05	29,61	30,02	31,24	30,73	29,14
ДКС 5075 (ФАО 410)	ВВСН 17	2,14	2,32	2,36	2,60	2,62	2,70	2,62	2,41
	ВВСН 65	23,72	24,67	26,34	27,02	27,40	28,80	28,38	27,05
ДКС 5206 (ФАО 420)	ВВСН 17	2,15	2,21	2,40	2,49	2,57	2,64	2,41	2,33
	ВВСН 65	22,62	23,78	25,22	25,84	26,36	27,38	27,09	25,32
НІР ₀₅ , т/га									
ВВСН 17	2022 р.: А – 0,10; В – 0,11; С – 0,14; АВ – 0,19; АС – 0,18; ВС – 0,20; АВС – 0,25								
	2023 р.: А – 0,08; В – 0,10; С – 0,12; АВ – 0,16; АС – 0,17; ВС – 0,18; АВС – 0,23								
	2024 р.: А – 0,06; В – 0,08; С – 0,10; АВ – 0,15; АС – 0,15; ВС – 0,17; АВС – 0,20								
ВВСН 65	2022 р.: А – 0,79; В – 0,92; С – 1,12; АВ – 1,28; АС – 1,32; ВС – 1,35; АВС – 1,65								
	2023 р.: А – 0,75; В – 0,89; С – 1,10; АВ – 1,25; АС – 1,28; ВС – 1,32; АВС – 1,63								
	2024 р.: А – 0,70; В – 0,85; С – 1,07; АВ – 1,21; АС – 1,23; ВС – 1,28; АВС – 1,58								

Гібриди кукурудзи, які вивчали у досліді, суттєво відрізнялися за інтенсивністю накопичення сухої біомаси. Найвищими її значення сформував гібрид ДКС 4712 (ФАО 370) – 2,68 т/га у мікростадії ВВСН 17 та 28,62 т/га у мікростадії ВВСН 65, що свідчить про високу інтенсивність росту рослин та продуктивність даного гібриду (рис. 3.12).

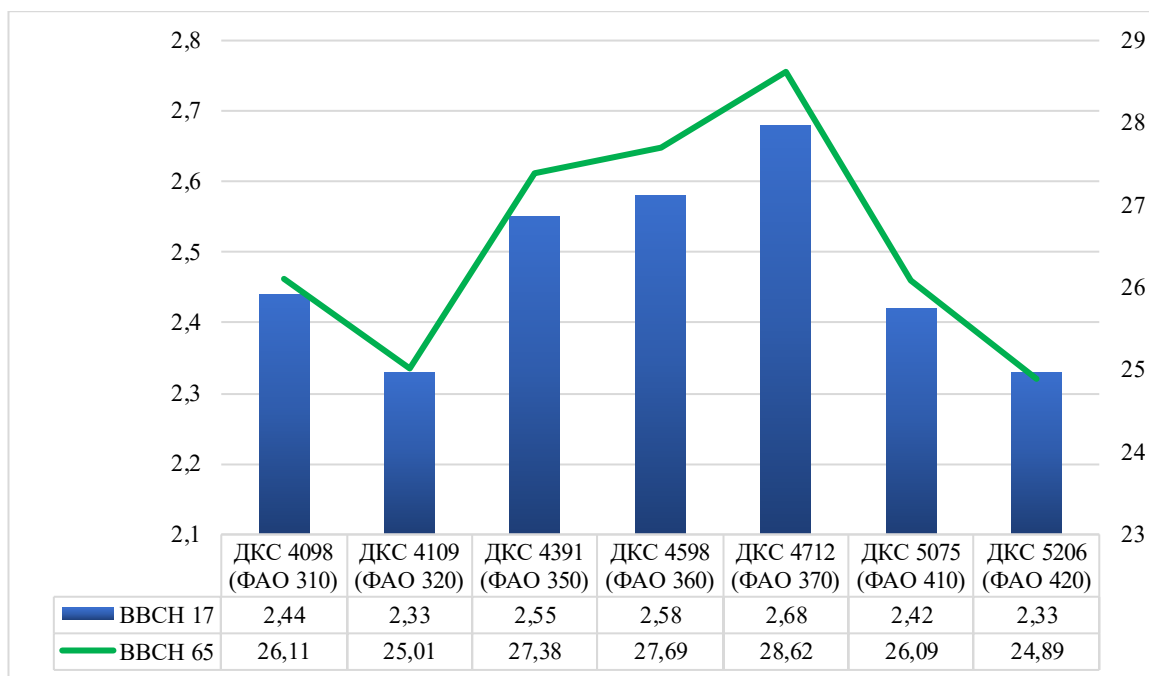


Рис. 3.12. Вихід сухої речовини з гектару посівів кукурудзи у середньому за факторами В і С (середнє за 2022–2024 рр.), т/га

Гібриди ДКС 4598 (ФАО 360) та ДКС 4391 (ФАО 350) також мали високі показники виходу сухої речовини з гектару посівів – 2,55–2,58 т/га (ВВСН 17) та 27,38–27,69 т/га (ВВСН 65), що обґрунтовує їх високий морфобіологічний потенціал.

Найнижчі показники накопичення сухої біомаси у досліді забезпечили рослини гібридів ДКС 4109 (ФАО 320) та ДКС 5206 (ФАО 420) – 2,33 т/га (ВВСН 17) і 24,89–25,01 т/га (ВВСН 65), що характеризує їх менш стійку, порівняно з іншими досліджуваними гібридами, адаптованість до умов зони вирощування.

В обидві мікростадії росту й розвитку рослин кукурудзи спостерігали зростання виходу сухої речовини з гектару посівів кукурудзи із підвищенням

густоти стояння з 55 до 80 тис./га (рис. 3.13). Найвищі значення сухої біомаси забезпечила щільність посівів 80 тис./га, що свідчить про оптимальну площу живлення для максимальної реалізації індивідуальної продуктивності рослин. У мікростадії ВВСН 17 вихід сухої речовини збільшився з 2,21 т/га (55 тис./га) до 2,66 т/га (80 тис./га), а в мікростадії ВВСН 65 – з 23,71 т/га до 28,55 т/га відповідно.

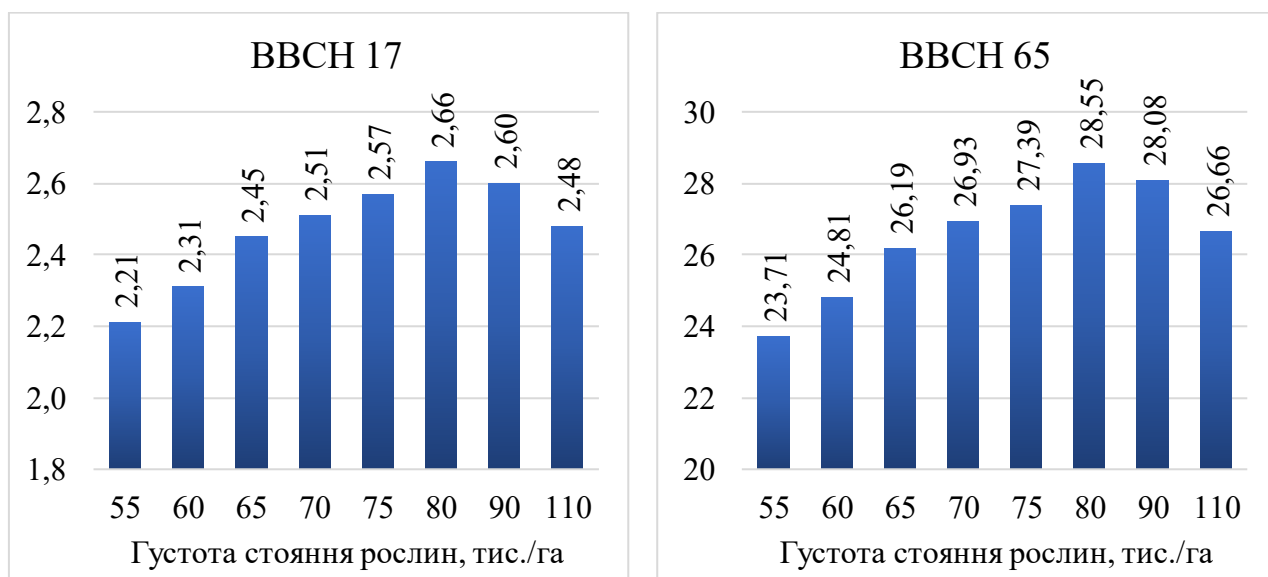


Рис. 3.13. Вплив густоти стояння рослин на вихід сухої речовини з гектару посівів кукурудзи у середньому за факторами А і С (середнє за 2022–2024 рр.), т/га

За подальшого загущення посівів після досягнення оптимального рівня густоти стояння рослин (80 тис./га) накопичення абсолютно сухої біомаси уповільнювалося. Зокрема, у мікростадії ВВСН 65 маса сухої речовини зменшилася з 28,55 т/га за густоти 80 тис./га до 28,08 т/га за густоти 90 тис./га та 26,66 т/га за густоти 110 тис./га. Подібну закономірність визначено і в більш ранній фазі розвитку (ВВСН 17), де показник біомаси знизився з 2,66 т/га (80 тис./га) до 2,48 т/га (110 тис./га). Таке зменшення свідчить про посилення внутрішньовидової конкуренції в надмірно загущених агроценозах, що ускладнює повноцінну реалізацію продукційного потенціалу рослин і знижує ефективність використання ними площі живлення.

За результатами досліджень встановлено суттєвий вплив позакореневих

підживлень на накопичення абсолютно сухої надземної біомаси посівами кукурудзи як на ранніх, так і більш пізніх етапах органогенезу. У мікростадії ВВСН 17 найбільший вихід сухої речовини забезпечила дворазова обробка посівів мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза – 2,63 т/га, що перевищило контроль на 0,38 т/га або 16,9% (рис. 3.14). Позакореневі підживлення мікродобривом Мікро-Мінераліс Кукурудза також сприяли зростанню даного показника, але дещо меншою мірою – приріст до контролю становив 0,29 т/га або 12,9%.

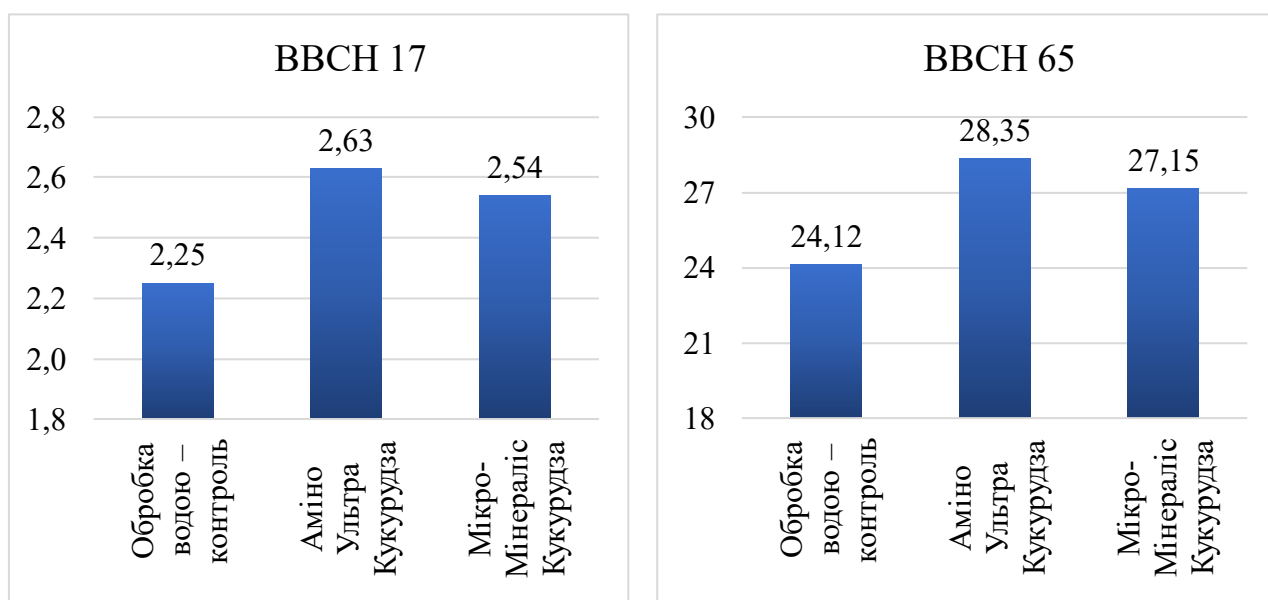


Рис. 3.14. Вплив позакореневих підживлень мікродобривами на вихід сухої речовини з гектару посівів кукурудзи у середньому за факторами А і В (середнє за 2022–2024 рр.), т/га

У мікростадії ВВСН 65 спостерігали ще більшу різницю між варіантами дослідів. У контролі з обробкою посівів водою вихід сухої біомаси з гектару посівів становив 24,12 т/га. Позакореневі підживлення мікродобривами збільшили даний показник до 27,15–28,35 т/га, тобто на 3,03–4,23 т/га або 12,6–17,5%. Більшу ефективність за даним показником, як і в мікростадії ВВСН 17, забезпечило мікродобриво Аміно Ультра Кукурудза.

Абсолютний максимум накопиченої кількості сухої надземної біомаси посівами кукурудзи в обидва строки визначення забезпечив гібрид ДКС 4712 (ФАО 370) за густоти стояння рослин 80 тис./га з проведенням дворазової

обробки посівів мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза – 3,09 т/га у мікростадії ВВСН 17 та 32,61 т/га у мікростадії ВВСН 65.

За результатами врожайних даних, виходу сухої речовини з гектару посівів та тривалості міжфазного періоду ВВСН 17–ВВСН 65 нами розраховано показники чистої продуктивності фотосинтезу (ЧПФ), які характеризують ефективність перетворення асиміляційної поверхні в суху речовину [183].

Проведеними розрахунками визначено, що ЧПФ у досліді варіювала в межах від 4,60 до 7,06 г/м² за добу (табл. 3.4).

У середньому по досліджуваних факторах показники чистої продуктивності фотосинтезу характеризувалися певною варіабельністю за гібридами кукурудзи щодо ефективності асиміляційного процесу. Найвищі значення ЧПФ за міжфазний період ВВСН 17 – ВВСН 65 забезпечили гібриди ДКС 4391 (ФАО 350) та ДКС 4712 (ФАО 370) – по 6,30 г/м² за добу, що свідчить про високу ефективність використання ними листкової поверхні для синтезу органічної речовини в період інтенсивного наростання вегетативної маси (рис. 3.15).

Дещо нижчі значення ЧПФ формували гібриди ДКС 5075 (ФАО 410) та ДКС 5206 (ФАО 420) – 6,22 і 6,27 г/м² за добу відповідно, що вказує на їх високу адаптивну здатність до умов років вирощування. Гібриди ДКС 4098 (ФАО 310) і ДКС 4109 (ФАО 320) характеризувалися дещо нижчими показниками ЧПФ – 6,18 і 6,15 г/м² за добу відповідно. Найменше значення ЧПФ серед досліджуваних гібридів забезпечив гібрид ДКС 4598 (ФАО 360) – 6,09 г/м² за добу, що пов'язано з менш ефективним накопиченням сухої речовини на одиницю листкової поверхні порівняно з іншими гібридами в аналогічних умовах.

За результатами досліджень встановлено суттєву залежність чистої продуктивності фотосинтезу від густоти стояння рослин. Найвищі значення показника спостерігали за густоти 60–65 тис. рослин/га – 6,41–6,44 г/м² за добу, що свідчить про оптимальне співвідношення між площею листкової поверхні та доступністю необхідних для рослин факторів – світла, вологи, елементів

живлення (рис. 3.16).

Таблиця 3.4

Чиста продуктивність фотосинтезу посівів кукурудзи за міжфазний період ВВСН 17 – ВВСН 65 за впливу досліджуваних факторів (середнє за 2022–2024 рр.), г/м² за добу

Гібрид (фактор А)	Густота стояння рослин, тис./га (фактор В)							
	55	60	65	70	75	80	90	110
Обробка водою – контроль (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	5,95	5,78	5,40	5,30	5,10	5,00	4,78	4,60
ДКС 4109 (ФАО 320)	4,80	5,60	5,45	5,35	5,20	5,05	4,90	4,65
ДКС 4391 (ФАО 350)	5,80	5,95	5,88	5,70	5,55	5,20	4,90	4,60
ДКС 4598 (ФАО 360)	5,90	5,75	5,65	5,50	5,40	5,25	4,95	4,65
ДКС 4712 (ФАО 370)	5,85	5,90	5,78	5,65	5,60	5,15	4,92	4,60
ДКС 5075 (ФАО 410)	5,70	5,68	5,80	5,60	5,50	5,35	4,85	4,60
ДКС 5206 (ФАО 420)	5,90	5,95	5,88	5,50	5,35	5,00	4,85	4,60
Аміно Ультра Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	6,72	6,78	6,65	7,01	6,93	6,76	6,66	6,44
ДКС 4109 (ФАО 320)	6,55	6,92	6,92	7,04	6,92	6,62	6,72	6,25
ДКС 4391 (ФАО 350)	6,89	6,93	7,04	7,05	6,85	6,64	6,46	6,13
ДКС 4598 (ФАО 360)	6,82	6,63	6,62	6,42	6,54	6,55	6,18	5,82
ДКС 4712 (ФАО 370)	6,85	7,06	7,05	6,84	7,02	6,67	6,55	6,03
ДКС 5075 (ФАО 410)	6,71	6,72	6,83	6,83	6,80	6,75	6,64	6,36
ДКС 5206 (ФАО 420)	6,96	7,05	7,02	6,75	6,71	6,51	6,62	6,32
Мікро-Мінераліс Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	6,55	6,50	6,42	6,74	6,70	6,55	6,55	6,53
ДКС 4109 (ФАО 320)	6,32	6,71	6,70	6,80	6,71	6,42	6,32	6,72
ДКС 4391 (ФАО 350)	6,70	6,72	6,83	6,76	6,62	6,46	6,75	6,73
ДКС 4598 (ФАО 360)	6,58	6,48	6,45	6,24	6,35	6,39	6,60	6,45
ДКС 4712 (ФАО 370)	6,65	6,80	6,82	6,62	6,80	6,45	6,67	6,81
ДКС 5075 (ФАО 410)	6,48	6,52	6,65	6,60	6,61	6,56	6,52	6,50
ДКС 5206 (ФАО 420)	6,72	6,84	6,81	6,55	6,55	6,36	6,75	6,81

У більш зріджених посівах (55 тис./га) ЧПФ залишалася на рівні 6,35 г/м² за добу, що також свідчить про високу фотосинтетичну активність за меншої внутрішньовидової конкуренції. Загущення посівів до 70–75 тис./га призводило до деякого зниження ЧПФ (6,28–6,33 г/м² за добу), хоча значення показників залишалися досить високими, що свідчить про адаптивність посівів у даному

діапазоні. Подальше збільшення густоти стояння рослин (до 80–110 тис./га) супроводжувалося ще більшим зниженням ЧПФ – 5,82–6,08 г/м² за добу.

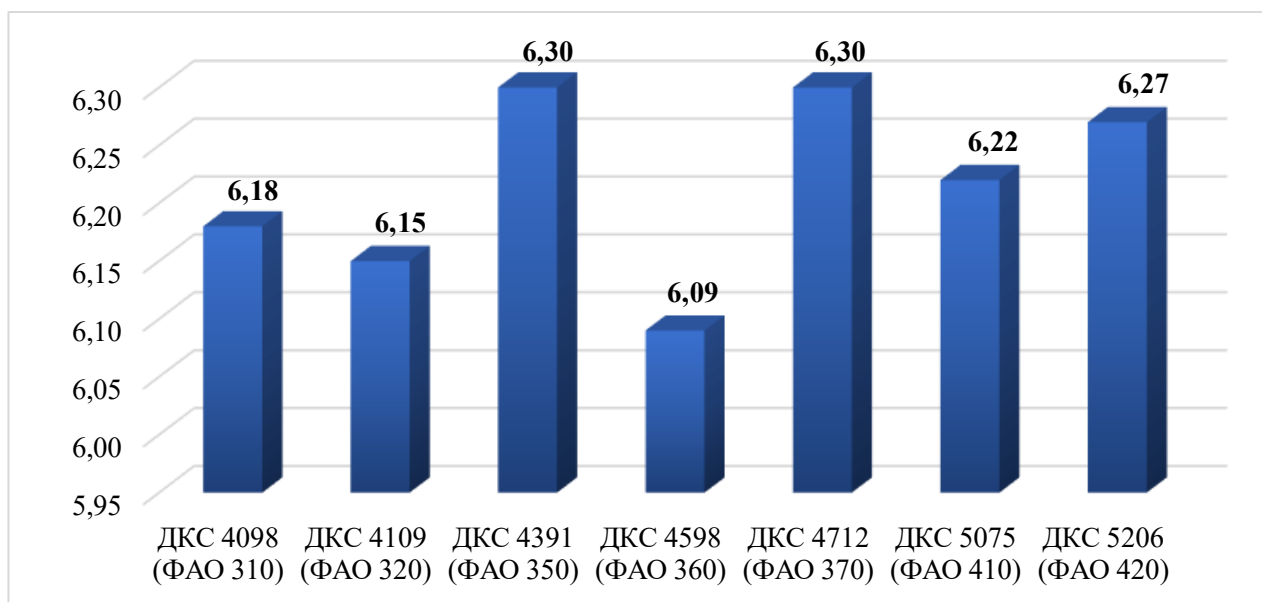


Рис. 3.15. Чиста продуктивність фотосинтезу посівів кукурудзи за міжфазний період BBCH 17 – BBCH 65 у середньому за факторами В і С (середнє за 2022–2024 рр.), г/м² за добу

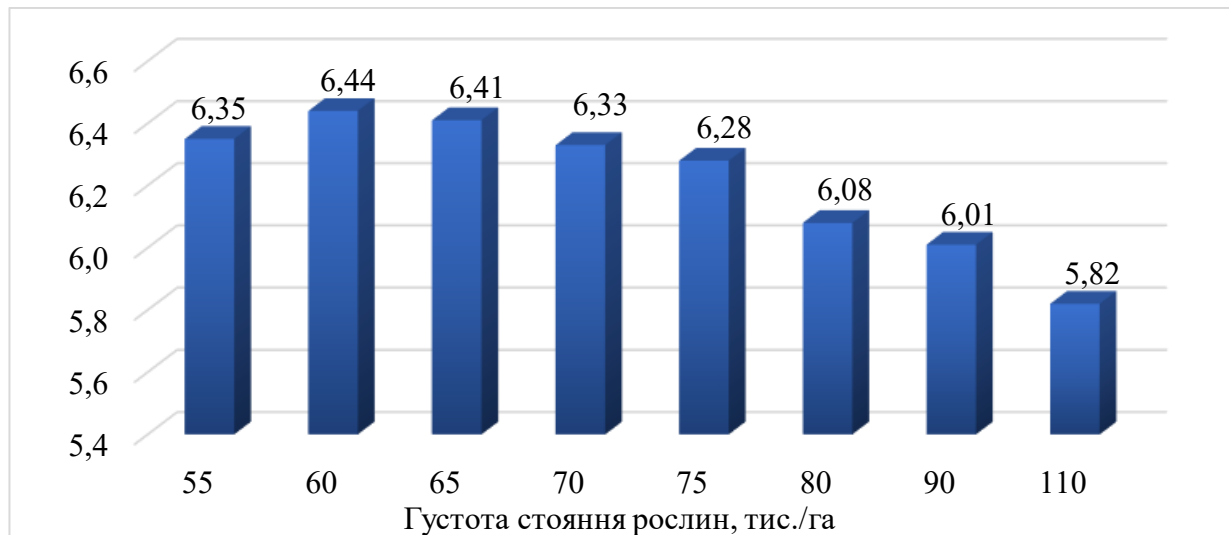


Рис. 3.16. Вплив густоти стояння рослин на чисту продуктивність фотосинтезу посівів кукурудзи за міжфазний період BBCH 17 – BBCH 65 у середньому за факторами А і С (середнє за 2022–2024 рр.), г/м² за добу

Послаблення ЧПФ у загущених посівах пояснюється посиленою конкуренцією рослин за світло, що обмежує ефективну роботу листкової поверхні, а також нижчою індивідуальною продуктивністю рослин.

За результатами досліджень встановлено суттєвий вплив позакореневих підживлень мікродобривами на чисту продуктивність фотосинтезу посівів кукурудзи за міжфазний період ВВСН 17 – ВВСН 65. Мінімальне значення показника забезпечив контрольний варіант з обробкою посівів водою – 5,34 г/м² за добу, що свідчить про обмежену ефективність фотосинтетичного апарату за умов недостатньої кількості елементів мінерального живлення (рис. 3.17).



Рис. 3.17. Вплив позакореневих підживлень мікродобривами на чисту продуктивність фотосинтезу посівів кукурудзи за міжфазний період ВВСН 17 – ВВСН 65 у середньому за факторами А і В (середнє за 2022–2024 рр.), млн м² за добу/га

Дворазова обробка посівів мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза забезпечила максимальний рівень ЧПФ – 6,70 г/м² за добу, що на 1,36 г/м² за добу або 25,5% перевищило контроль. Такий результат свідчить про високу ефективність мікродобрива, обумовлену стимуляцією метаболічних процесів і посиленням активності листкового апарату.

Позакореневі підживлення посівів мікродобривом Мікро-Мінераліс Кукурудза також суттєво збільшили ЧПФ – 6,60 г/м² за добу, що на 1,26 г/м² або 23,6% вище, ніж у контролі. Тобто обидва мікродобрива позитивно впливали на інтенсивність фотосинтетичних процесів, проте Аміно Ультра Кукурудза забезпечило дещо вищу ефективність у збільшенні ЧПФ посівів кукурудзи.

Між урожайністю зерна і чистою продуктивністю фотосинтезу встановлено дуже сильний кореляційний зв'язок, про що свідчать розраховані нами коефіцієнти кореляції: $R^2 = 0,9298\text{--}0,9878$ (рис. 3.18) для густоти стояння рослин та $R^2 = 0,9021\text{--}0,9871$ (рис. 3.19) для гібридів марки DEKALB.

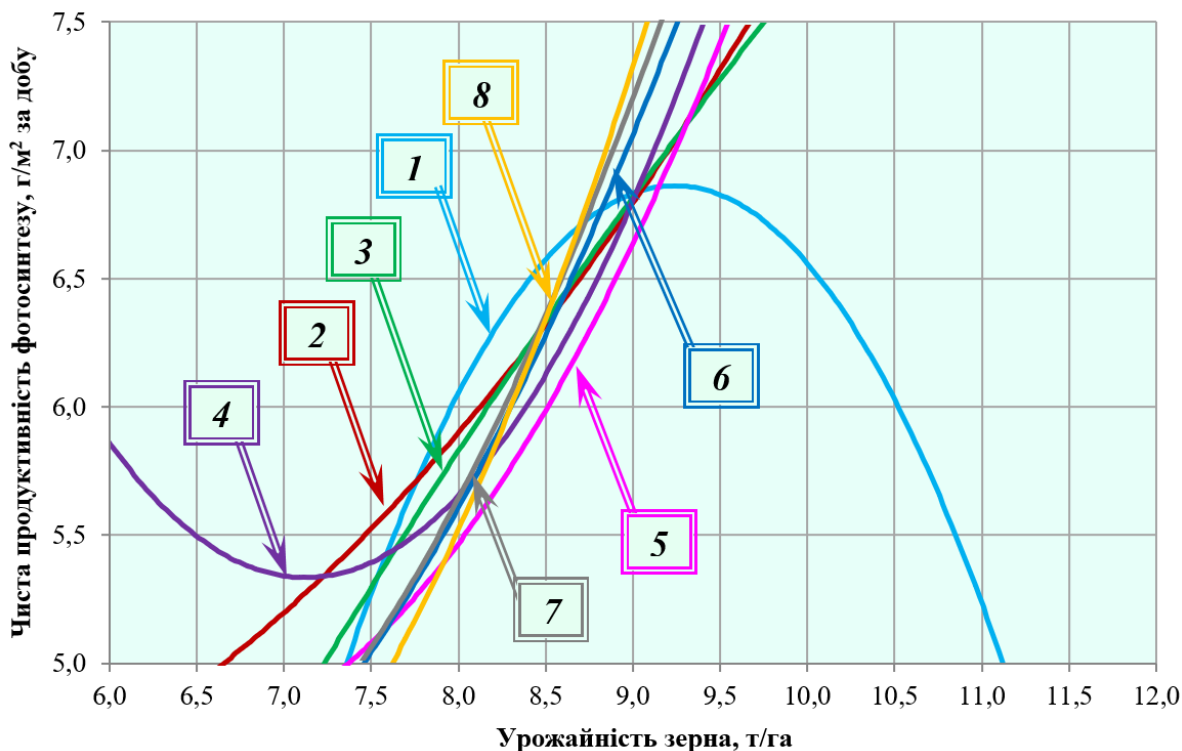


Рис. 3.18. Кореляційно-регресійна залежність між урожайністю зерна кукурудзи та чистою продуктивністю фотосинтезу за різної густоти стояння рослин (середнє за 2022–2024 рр.):

1 – 55 тис./га: $y = -0,5258x^2 + 9,7169x - 38,029$; $R^2 = 0,9541$;

2 – 60 тис./га: $y = 0,0968x^2 - 0,7398x + 5,6808$; $R^2 = 0,9718$;

3 – 65 тис./га: $y = -0,0483x^2 + 1,807x - 5,4917$; $R^2 = 0,9656$;

4 – 70 тис./га: $y = 0,4163x^2 - 5,9191x + 26,389$; $R^2 = 0,9572$;

5 – 75 тис./га: $y = 0,2629x^2 - 3,2256x + 14,593$; $R^2 = 0,9376$;

6 – 80 тис./га: $y = 0,2186x^2 - 2,2608x + 9,7056$; $R^2 = 0,9878$;

7 – 90 тис./га: $y = 0,2652x^2 - 2,9543x + 12,281$; $R^2 = 0,9539$;

8 – 110 тис./га: $y = 0,3116x^2 - 3,3306x + 12,631$; $R^2 = 0,9298$.

Таким чином, за результатами досліджень встановлено, що найбільший вихід сухої надземної маси (до 32,61 т/га) та максимальні значення ЧПФ (до 7,06 г/м²/добу) забезпечували оптимальна густота стояння рослин (60–80 тис./га), застосування мікродобрива Аміно Ультра Кукурудза та вирощування продуктивних гібридів ДКС 4712 і ДКС 4391. Надмірне

загущення призводило до зниження ЧПФ і, відповідно, до меншого накопичення біомаси.

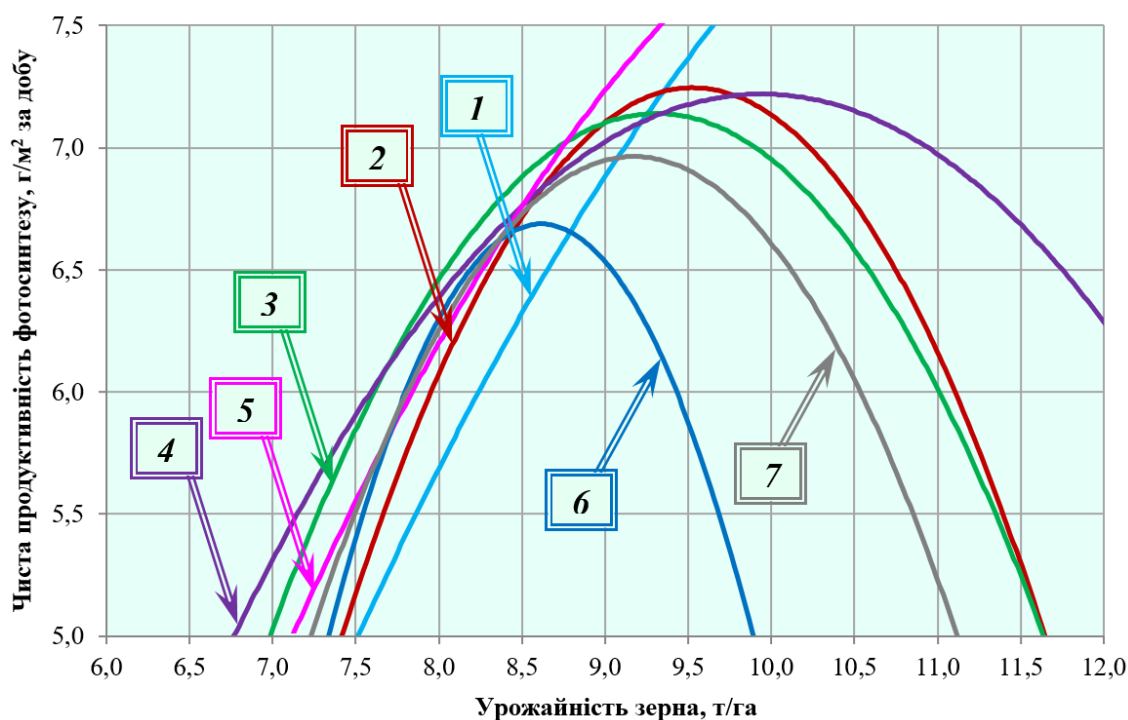


Рис. 3.19. Кореляційно-регресійна залежність між урожайністю зерна кукурудзи та фотосинтетичним потенціалом посівів досліджуваних гібридів (середнє за 2022–2024 рр.):

1 – ДКС 4098 (ФАО 310): $y = -0,1489x^2 + 3,7269x - 14,596$; $R^2 = 0,9021$;

2 – ДКС 4109 (ФАО 320): $y = -0,3327x^2 + 6,9088x - 28,348$; $R^2 = 0,9663$;

3 – ДКС 4391 (ФАО 350): $y = -0,2617x^2 + 5,4457x - 20,93$; $R^2 = 0,9871$;

4 – ДКС 4598 (ФАО 360): $y = -0,146x^2 + 3,2482x - 10,581$; $R^2 = 0,9721$;

5 – ДКС 4712 (ФАО 370): $y = -0,1144x^2 + 2,9797x - 10,694$; $R^2 = 0,9865$;

6 – ДКС 5075 (ФАО 410): $y = -0,7454x^2 + 13,484x - 54,192$; $R^2 = 0,9447$;

7 – ДКС 5206 (ФАО 420): $y = -0,3438x^2 + 6,8516x - 26,937$; $R^2 = 0,9697$.

Висновки до розділу 3

1. Найбільшу у досліді площу листової поверхні сформували гібриди ДКС 4712, ДКС 4598 і ДКС 4391. Збільшення густоти стояння рослин до 80 тис./га сприяло зростанню даного показника, проте надмірне загущення посівів (90–110 тис./га) призводило до його зменшення через внутрішньовидову конкуренцію рослин. Позакореневі підживлення мікродобривами значно підвищували асиміляційний потенціал посівів з найвищою ефективністю за використання мікродобрива Аміно Ультра Кукурудза, яке забезпечило

зростання площі листкової поверхні на 17,5% порівняно з контролем. Абсолютний максимум площі листкової поверхні у досліді забезпечив гібрид ДКС 4712 за густоти стояння рослин 80 тис./га і дворазового підживлення мікродобрином Аміно Ультра Кукурудза – 36,2 тис. м²/га. На формування площі листкової поверхні кукурудзи суттєво впливали всі досліджувані фактори, взаємодія яких забезпечила до 95,5% варіації показника.

2. Найвищі показники фотосинтетичного потенціалу визначено за вирощування гібридів з ФАО 350–370, зокрема ДКС 4712, ДКС 4598 та ДКС 4391, які поєднували високу інтенсивність наростання листкової поверхні з тривалістю вегетації. Гібриди з нижчим ФАО (ДКС 4109, ДКС 4098) мали менші значення фотосинтетичного потенціалу через раннє дозрівання та більш слабку реакцію на технологічні заходи, а гібриди з ФАО 410–420 забезпечили високий рівень показника, який поступався гібридам з ФАО 350–370, але мав відносну стабільність без вираженої інтенсивності розвитку. Фотосинтетичний потенціал зростав зі збільшенням густоти стояння рослин до 80 тис./га. Подальше загущення посівів до 90–110 тис./га призводило до зниження показника через зростаючу конкуренцію між рослинами. Позакореневі підживлення мікродобрином Мікро-Мінераліс Кукурудза збільшили його на 12,5%, Аміно Ультра Кукурудза – на 16,7%. Максимальний у досліді фотосинтетичний потенціал (1,99 млн м²/добу/га) забезпечив гібрид ДКС 4712 за густоти стояння рослин 80 тис./га з дворазовим підживленням посівів мікродобрином Аміно Ультра Кукурудза.

3. Максимальне накопичення абсолютно сухої надземної біомаси визначено у мікростадії ВВСН 65 за вирощування гібриду ДКС 4712 (ФАО 370) з густотою стояння рослин 80 тис./га та дворазової обробки посівів мікродобрином Аміно Ультра Кукурудза – 32,61 т/га, що свідчить про ефективне поєднання морфобіологічних особливостей гібриду, оптимального агрофону та стимуляції метаболічної активності. Зниження показника за надмірного загущення посівів (понад 80 тис./га) обумовлено посиленням внутрішньовидової конкуренції, яка обмежує реалізацію продукційного

потенціалу рослин.

4. Чиста продуктивність фотосинтезу за міжфазний період ВВСН 17–ВВСН 65 варіювала у межах 4,60–7,06 г/м² за добу. Найвищі значення ЧПФ забезпечили гібриди ДКС 4391 та ДКС 4712 (по 6,30 г/м²/добу), густота стояння рослин 60–65 тис./га (6,41–6,44 г/м²/добу) та позакореневі підживлення посівів мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза (6,70 г/м²/добу).

5. Між площею листової поверхні, фотосинтетичним потенціалом, чистою продуктивністю фотосинтезу та врожайністю зерна встановлено сильний і дуже сильний кореляційний зв'язок (0,8118–0,9856; 0,8191–0,9710; 0,9021–0,9878), що обґрунтовує доцільність використання досліджуваних елементів технології для прогнозування продуктивності кукурудзи.

Публікації за розділом 3

За розділом 3 опубліковано 1 статтю у науковому фаховому виданні України категорії В та 1 тезу за матеріалами доповідей на міжнародних науково-практичних конференціях:

1. Іванів М. О., Сидякіна О. В., **Гамула Є. А.** Формування площі листової поверхні посівів кукурудзи залежно від агробіологічних факторів в умовах Північного Степу України. *Таврійський науковий вісник. Серія Сільськогосподарські науки*. 2025. № 145, Т. 1. С. 134–144. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.145.1.16> [53].

2. Ivaniv M., Sydiakina O., **Hamula Ye.** Net photosynthetic productivity of maize hybrids depending on plant density and micronutrients. *Innovative Research in Science and Economy : Collection of Scientific Papers with Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference*. International Scientific Unity. July 30 – August 1, 2025. Brussels, Belgium, 2025. P. 25–29. DOI: <https://doi.org/10.70286/ISU-30.07.2025>. URL: <http://dspace.ksaeu.kherson.ua/handle/123456789/11182> [183].

РОЗДІЛ 4

ВПЛИВ ДОСЛІДЖУВАНИХ ФАКТОРІВ НА ВОДОСПОЖИВАННЯ КУКУРУДЗИ

За сучасних кліматичних змін, що супроводжуються більш частими періодами посухи, нерівномірним розподілом опадів та зростанням температур атмосферного повітря, питання раціонального використання водних ресурсів набуває особливої актуальності. Кукурудза відома як посухостійка культура, проте вона чутлива до нестачі вологи, особливо в критичні фази росту й розвитку – ВВСН 61–69 (цвітіння) і ВВСН 75–79 (налив зерна). Водний стрес під час цвітіння уповільнює ріст і розвиток рослин та збільшує інтервал між появою тичинок і приймочок (ASI), що призводить до послаблення заплідненості й абортивності зерен (ZmEXPA5 визначено геном, який зменшує ASI та підвищує рівень урожайності) [201, 268].

Нестача вологи під час цвітіння кукурудзи призводить до зниження загальної ефективності фотосинтезу та його окремих складових (закриття продихів, пригнічення активності ферментів), що обмежує транспортування асимілятів до зерна, що знаходиться у стадії формування. Нестача вологи призводить до зниження внутрішньої концентрації CO_2 у листках через закриття продихів, а також інгібує ферментативні процеси в циклі Кальвіна-Бенсона, що ще більшою мірою послаблює ефективність фотосинтезу. Як результат, порушується синтез і транспортування вуглеводів до зав'язі та знижується виповненість зерна [152].

Раціональне водоспоживання посівів кукурудзи значною мірою обумовлюється біологічними особливостями гібридів, густотою стояння рослин та ефективністю живлення, зокрема проведенням позакореневих підживлень мікродобривами. Добір адаптованих до регіональних умов гібридів, оптимізації просторового розміщення та живлення рослин дозволяють не лише підвищити продуктивність агроценозів, а й забезпечити раціональне використання ґрунтової вологи посівами [15, 85, 102, 136, 289].

У дослідженнях останніх років акцентовано увагу на важливості інтеграції агрофізіологічного моніторингу з технологічними заходами, які забезпечують адаптацію рослин до умов водного стресу. Використання сучасних гібридів кукурудзи з підвищеною толерантністю до посухи у поєднанні з контрольованими агротехнічними заходами дозволяє послабити негативний вплив абіотичних чинників на ріст, розвиток і продуктивність культури [254, 261].

Дослідження впливу особливостей гібридів, густоти стояння рослин та позакоренових підживлень мікродобривами на водоспоживання посівів кукурудзи є науково обґрунтованим, практично орієнтованим та спрямованим на розробку ресурсозберігаючих елементів технології вирощування за умов обмеженого зволоження.

За результатами досліджень встановлено, що сумарне водоспоживання посівів кукурудзи значно залежало від умов вологозабезпеченості років вирощування [49]. Максимальним його визначено у найбільш вологому 2022 р. – 4219 м³/га, мінімальним – у найпосушливішому 2024 р. – 1487 м³/га, або в 2,8 рази меншим (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

**Сумарне водоспоживання та його баланс за вирощування кукурудзи
(середнє за досліджуваними факторами)**

Рік вирощування	Сумарне водоспоживання, м ³ /га	Частка у балансі, м ³ /га	
		опадів	грунтової вологи
2022	4219	2850	1369
2023	2512	1455	1057
2024	1487	772	715
2022–2024 рр.	2739	1692	1047

Частка опадів і ґрунтової вологи у балансі водоспоживання кукурудзи впродовж 2022–2024 рр. свідчить про варіативність джерел вологозабезпечення залежно від агрокліматичних умов року.

У 2022 р., який характеризувався відносно сприятливими умовами з достатньою кількістю опадів упродовж вегетаційного періоду, переважну

частку балансу водоспоживання забезпечили атмосферні опади – 67,6%, на частку ґрунтової вологи припадало 32,4% (рис. 4.1).

У 2023 р. зменшення кількості опадів призвело до зростання частки використання вологи з ґрунтових запасів до 42,1%, опади при цьому забезпечували 57,9% потреби рослин. У 2024 р. частка опадів у балансі водоспоживання знизилася до 51,9%, і майже половину потреби (48,1%) рослини кукурудзи використовували із запасів ґрунтової вологи, що підтверджує зростання посушливості у регіоні.

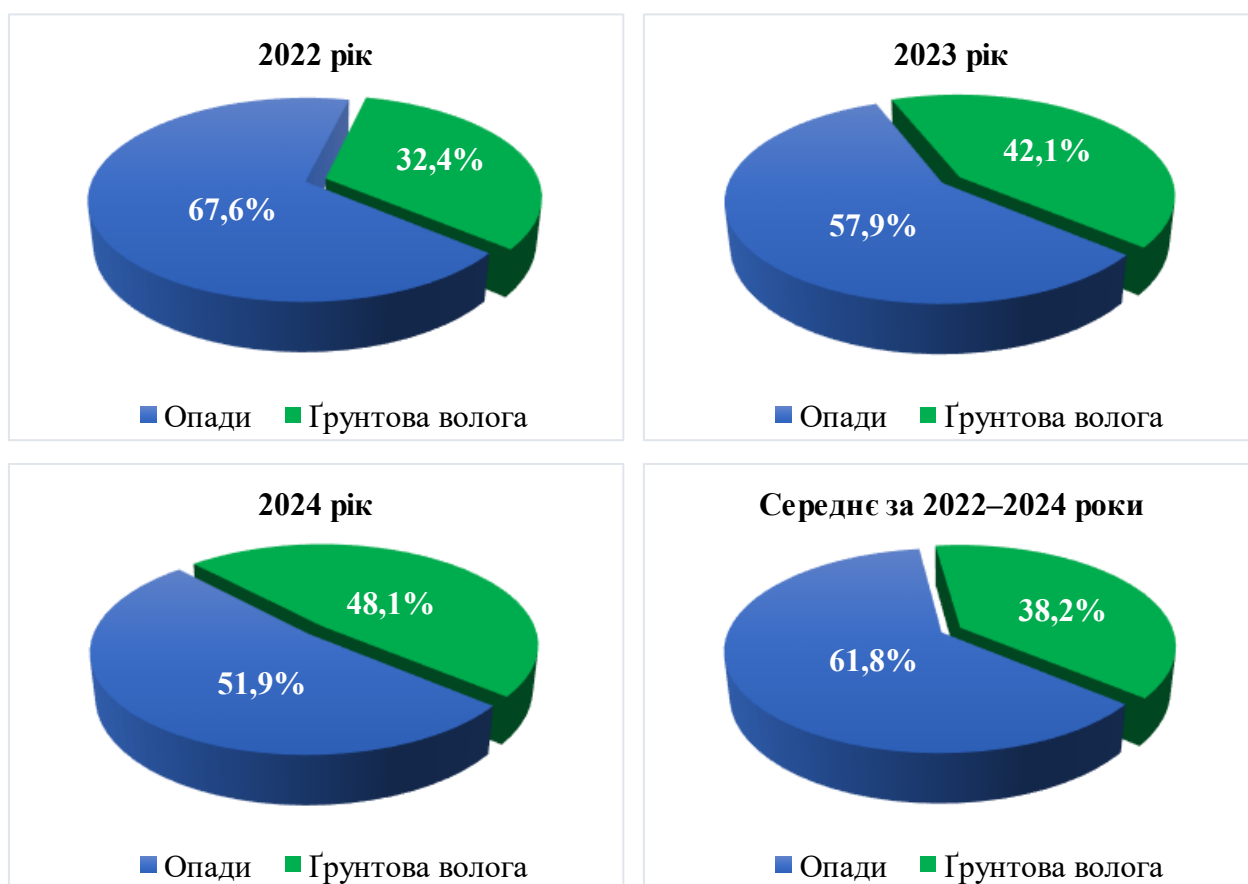


Рис. 4.1. Складові елементи балансу сумарного водоспоживання (середнє за досліджуваними факторами), %

У середньому за три роки досліджень атмосферні опади формували 61,8% сумарного водоспоживання посівів кукурудзи, а ґрунтові вологозапаси – 38,2%, що обґрунтовує вирішальне значення вологозабезпеченості в умовах Північного Степу, особливо за сучасних кліматичних змін.

Побудована кореляційно-регресійна залежність між урожайністю зерна та сумарним водоспоживанням посівів кукурудзи засвідчує дуже сильний зв'язок

між досліджуваними показниками, що підтверджує коефіцієнт кореляції $R = 0,9791-0,9837$ (рис. 4.2).

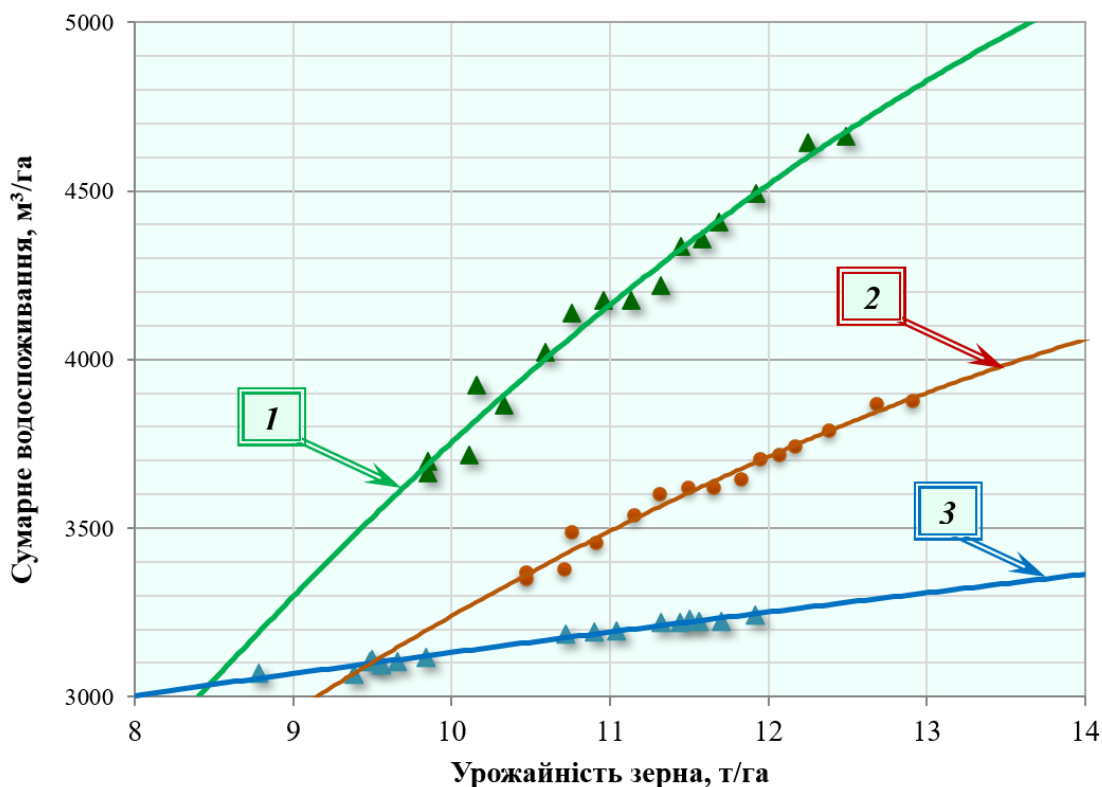


Рис. 4.2. Кореляційно-регресійна залежність між урожайністю зерна та сумарним водоспоживанням кукурудзи (середнє за факторами):

1 – 2022 рік: $y = -24,986x^2 + 931,85x - 3065,4$; $R^2 = 0,9791$;

2 – 2023 рік: $y = -12,954x^2 + 481,04x - 583,79$; $R^2 = 0,9831$;

3 – 2024 рік: $y = -7,3426x^2 + 335,18x - 170,5$; $R^2 = 0,9837$.

Рівень зволоження років вирощування суттєво вплинув на формування коефіцієнту водоспоживання. Найнижчими його значення були у найпосушливішому 2024 р., найвищими – у 2022 р., у якому він був у середньому по досліді в 1,6 разів більшим.

У 2022 р., який характеризувався найвищим рівнем зволоження, коефіцієнт водоспоживання був максимальним у досліді і коливався в межах 367–391 м³/т залежно від гібриду (табл. 4.2). У 2023 р. він виявився значно меншим, мінімальні його значення забезпечили гібриди ДКС 4098 (ФАО 310) і ДКС 5206 (ФАО 420) – 291 і 296 м³/т відповідно, а найбільші – ДКС 4391 (ФАО 350) та ДКС 5075 (ФАО 410) – 309 м³/т. Найменшу кількість вологи на формування одиниці врожаю посіви кукурудзи витрачали у 2024 р., коли через

недостатнє зволоження коефіцієнт водоспоживання варіював у межах від 252 до 309 м³/т. У середньому за три роки досліджень коефіцієнт водоспоживання для більшості гібридів виявився практично однаковим і знаходився у межах 313–316 м³/т, виняток складав лише гібрид ДКС 4598 (ФАО 360), у якого даний показник становив 333 м³/т, що вказує на більші потреби даного гібриду до умов вологозабезпеченості.

Таблиця 4.2

Коефіцієнт водоспоживання гібридів кукурудзи різних груп ФАО у середньому за факторами, м³/т

Гібрид	Роки досліджень			Середнє за 2022–2024 рр.
	2022	2023	2024	
ДКС 4098 (ФАО 310)	391	291	258	313
ДКС 4109 (ФАО 320)	388	298	252	313
ДКС 4391 (ФАО 350)	367	309	267	314
ДКС 4598 (ФАО 360)	385	305	309	333
ДКС 4712 (ФАО 370)	373	300	270	314
ДКС 5075 (ФАО 410)	380	309	254	314
ДКС 5206 (ФАО 420)	370	296	282	316

Коефіцієнт водоспоживання суттєво залежав від густоти стояння рослин, що свідчить про значний вплив даного елементу технології на ефективність використання води рослинами (табл. 4.3).

Таблиця 4.3

Вплив густоти стояння рослин на коефіцієнт водоспоживання посівів кукурудзи у середньому за факторами, м³/т

Густота стояння рослин, тис./га	Роки досліджень			Середнє за 2022–2024 рр.
	2022	2023	2024	
55	379	317	236	311
60	373	299	252	308
65	368	295	260	308
70	371	293	266	310
75	367	297	269	311
80	382	301	288	324
90	390	299	319	336
110	402	310	272	328

У сприятливому за зволоженням 2022 р. найнижчі значення коефіцієнта водоспоживання визначено за густоти стояння рослин 75 тис./га – 367 м³/т, максимальні – у надмірно загущених посівах (110 тис./га) – 402 м³/т. У 2023 р. найнижчий коефіцієнт водоспоживання забезпечила густота стояння рослин 65–70 тис./га (293–295 м³/т), за всіх інших рівнів густот він зростав. У найбільш посушливому 2024 р. коефіцієнт водоспоживання варіював у межах від 236 м³/т за густоти стояння рослин 55 тис./га до максимальних значень 319 м³/т за щільності посівів 90 тис./га.

У середньому за 2022–2024 рр. найефективнішим використання вологи посівами кукурудзи визначено за густоти стояння рослин 55–75 тис./га (308–311 м³/т), що дозволяє вважати даний діапазон як оптимальний відносно витрат вологи на формування одиниці врожаю. Найвищі значення коефіцієнта водоспоживання у середньому за три роки досліджень забезпечила густота стояння рослин 90–110 тис./га – 328–336 м³/т, що вказує на нераціональні витрати вологи у загущених посівах.

Позакореневі підживлення мікродобривами найбільшою мірою серед досліджуваних факторів вплинули на коефіцієнт водоспоживання посівів кукурудзи, про що свідчить максимальна різниця між варіантами дослідів (рис. 4.3).

У 2022 р., який характеризувався відносно сприятливими умовами зволоження, коефіцієнт водоспоживання у контрольному варіанті дослідів з обробкою посівів водою становив 412 м³/т. У варіантах із застосуванням мікродобрив Аміно Ультра Кукурудза та Мікро-Мінераліс Кукурудза даний показник був нижчим відповідно на 55 та 44 м³/т, що свідчить про більш ощадливі витрати вологи на формування одиниці врожаю за рахунок проведення позакореневих підживлень посівів.

У 2023 р. коефіцієнт водоспоживання у контролі становив 328 м³/т, а у варіантах із мікродобривами – 284–292 м³/т, тобто на 36–44 м³/т або 11–13% менше, що обґрунтовує позитивну дію позакореневих підживлень навіть за умов менш достатнього зволоження.

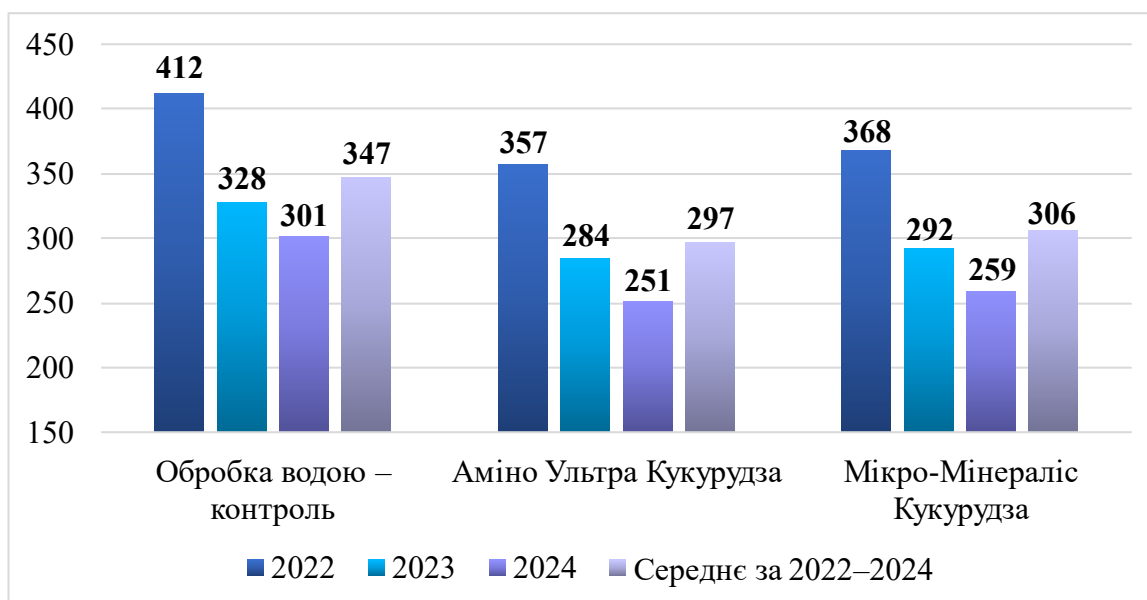


Рис. 4.3. Вплив позакоренових підживлень мікродобривами на коефіцієнт водоспоживання посівів кукурудзи у середньому за факторами, м³/т

У найбільш посушливому 2024 р. ефективність позакоренових підживлень мікродобривами зберіглася. У контрольному варіанті коефіцієнт водоспоживання становив 301 м³/т, а у варіантах з Аміно Ультра Кукурудза та Мікро-Мінераліс Кукурудза – 251–259 м³/т, що менше на 42–50 м³/т або 14–17%.

У середньому за три роки досліджень найнижчий коефіцієнт водоспоживання визначено за використання мікродобрива Аміно Ультра Кукурудза – 297 м³/т, що на 50 м³/т менше, ніж у контролі з обробкою посівів водою. За впливу мікродобрива Мікро-Мінераліс Кукурудза коефіцієнт водоспоживання був дещо вищим – 306 м³/т.

Коефіцієнт водоспоживання посівів кукурудзи залежно від гібриду, густоти стояння рослин та позакоренових підживлень мікродобривами у середньому за три роки досліджень підтверджує складну взаємодію між досліджуваними факторами, що обумовлює ефективність використання вологозапасів в агроценозі культури (табл. 4.4).

У контрольному варіанті досліді з обробкою посівів водою визначено загальну закономірність до зростання коефіцієнта водоспоживання зі

збільшенням густоти стояння рослин з 55 до 110 тис./га. Найнижчими значення показника визначено за щільності посівів 55–70 тис./га, зі збільшенням густоти стояння рослин коефіцієнт водоспоживання зростає, що свідчить про більш високі витрати вологи на формування одиниці врожаю внаслідок посиленої конкуренції рослин.

Таблиця 4.4

Коефіцієнт водоспоживання посівів кукурудзи залежно від досліджуваних факторів (середнє за 2022–2024 рр.), м³/т

Гібрид (фактор А)	Густота стояння рослин, тис./га (фактор В)							
	55	60	65	70	75	80	90	110
Обробка водою – контроль (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	338	341	349	330	333	336	352	358
ДКС 4109 (ФАО 320)	355	332	334	329	332	346	346	351
ДКС 4391 (ФАО 350)	335	333	329	332	338	349	363	376
ДКС 4598 (ФАО 360)	338	347	349	361	358	357	394	425
ДКС 4712 (ФАО 370)	335	330	329	338	329	344	361	387
ДКС 5075 (ФАО 410)	344	343	335	339	339	336	350	359
ДКС 5206 (ФАО 420)	332	330	329	344	347	359	356	382
Аміно Ультра Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	292	294	301	285	287	299	302	299
ДКС 4109 (ФАО 320)	305	285	287	283	286	297	304	306
ДКС 4391 (ФАО 350)	288	286	284	285	291	307	317	302
ДКС 4598 (ФАО 360)	291	299	300	310	307	331	358	299
ДКС 4712 (ФАО 370)	288	283	283	291	283	308	319	302
ДКС 5075 (ФАО 410)	296	295	288	291	291	299	310	296
ДКС 5206 (ФАО 420)	285	283	282	295	298	307	325	291
Мікро-Мінераліс Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	301	303	310	293	296	308	311	308
ДКС 4109 (ФАО 320)	314	295	295	291	294	307	313	316
ДКС 4391 (ФАО 350)	296	294	292	293	300	317	327	311
ДКС 4598 (ФАО 360)	300	308	309	319	316	341	370	308
ДКС 4712 (ФАО 370)	296	291	291	299	292	317	329	311
ДКС 5075 (ФАО 410)	305	304	297	300	300	308	319	305
ДКС 5206 (ФАО 420)	293	292	291	303	306	316	334	300

Найнижчими значення коефіцієнта водоспоживання у контролі забезпечили гібриди ДКС 4391 (ФАО 350), ДКС 4712 (ФАО 370) і ДКС 5206 (ФАО 420) – 329–332 м³/т за оптимальної густоти стояння рослин, максимальний показник визначено у варіанті вирощування гібриду ДКС 4598 (ФАО 360) – 425 м³/т за щільності посівів 110 тис./га, що свідчить про значну генотипову варіабельність щодо витрат води на формування одиниці врожаю.

Позакореневі підживлення мікродобривами позитивно позначилися на коефіцієнті водоспоживання. Дворазова обробка посівів мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза сприяла його зменшенню на 40–60 м³/т порівняно з контролем. Найнижчі значення коефіцієнту водоспоживання (283–288 м³/т) визначено за густоти стояння рослин 60–70 тис./га за вирощування гібридів ДКС 4391 (ФАО 350), ДКС 4712 (ФАО 370) та ДКС 5206 (ФАО 420). За щільності посівів 110 тис./га, навіть за зростання абсолютних значень, спостерігали зниження коефіцієнту водоспоживання на 50–60 м³/т порівняно з контролем, що свідчить про вищу стійкість рослин до гідротермічного стресу.

Аналогічну закономірність між варіантами дослідів визначено і за проведення підживлень посівів мікродобривом Мікро-Мінераліс Кукурудза, хоча значення коефіцієнтів водоспоживання були дещо вищими, ніж за обробки посівів мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза. Мінімальні значення показника (291 м³/т) забезпечили гібриди ДКС 5206 (ФАО 420) і ДКС 4712 (ФАО 370) за густоти стояння рослин 65 тис./га. Загалом, діапазон значень коефіцієнту водоспоживання у варіантах з проведенням позакореневих підживлень мікродобривом Мікро-Мінераліс Кукурудза становив 291–370 м³/т, причому більш низькі показники забезпечили гібриди з меншим ФАО за оптимальної густоти стояння рослин.

Незважаючи на значні коливання коефіцієнту водоспоживання за роками вирощування кукурудзи, результати статистичного аналізу свідчать про наявність дуже тісної залежності між даним показником і рівнем сформованої врожайності: $R^2 = 0,9280\text{--}0,9995$ (рис. 4.4) для густоти стояння рослин та $R^2 = 0,9536\text{--}0,9993$ (рис. 4.5) для гібридів марки DEKALB.

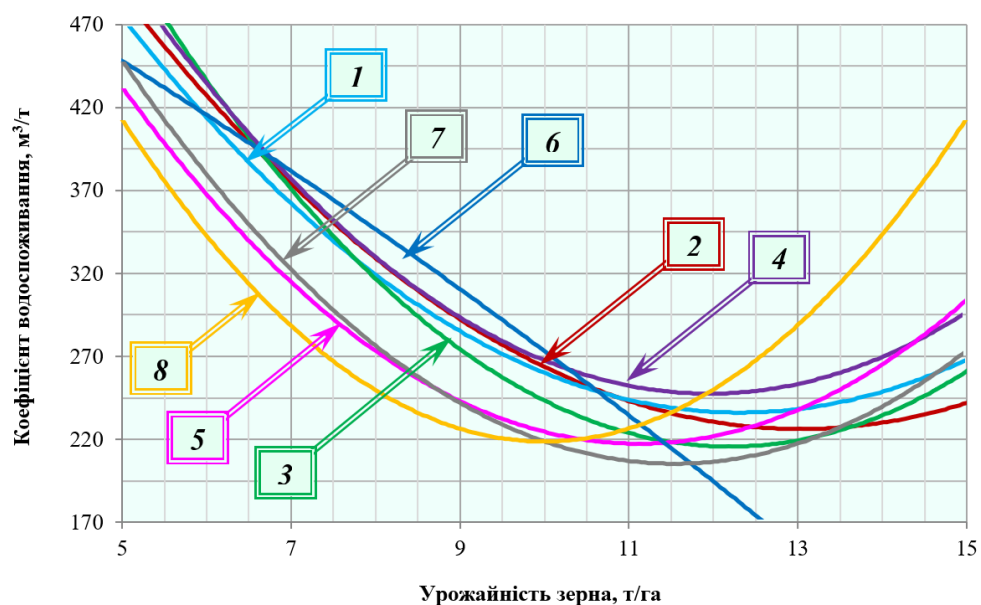


Рис. 4.4. Кореляційно-регресійна залежність між урожайністю зерна кукурудзи та коефіцієнтом водоспоживання за різної густоти стояння рослин (середнє за 2022–2024 рр.):

- 1 – 55 тис./га: $y = 4,6915x^2 - 116,38x + 959,41$; $R^2 = 0,9995$;
 2 – 60 тис./га: $y = 4,0612x^2 - 105,85x + 916$; $R^2 = 0,9991$;
 3 – 65 тис./га: $y = 5,0605x^2 - 123,15x + 991,14$; $R^2 = 0,9987$;
 4 – 70 тис./га: $y = 5,3555x^2 - 128,46x + 1015,4$; $R^2 = 0,9989$;
 5 – 75 тис./га: $y = 6,5205x^2 - 148,31x + 1099,6$; $R^2 = 0,9954$;
 6 – 80 тис./га: $y = -0,7502x^2 - 27,947x + 604,37$; $R^2 = 0,9730$;
 7 – 90 тис./га: $y = 5,8271x^2 - 137,32x + 1059,9$; $R^2 = 0,9280$;
 8 – 110 тис./га: $y = 17,235x^2 - 322,94x + 1806$; $R^2 = 0,9916$.

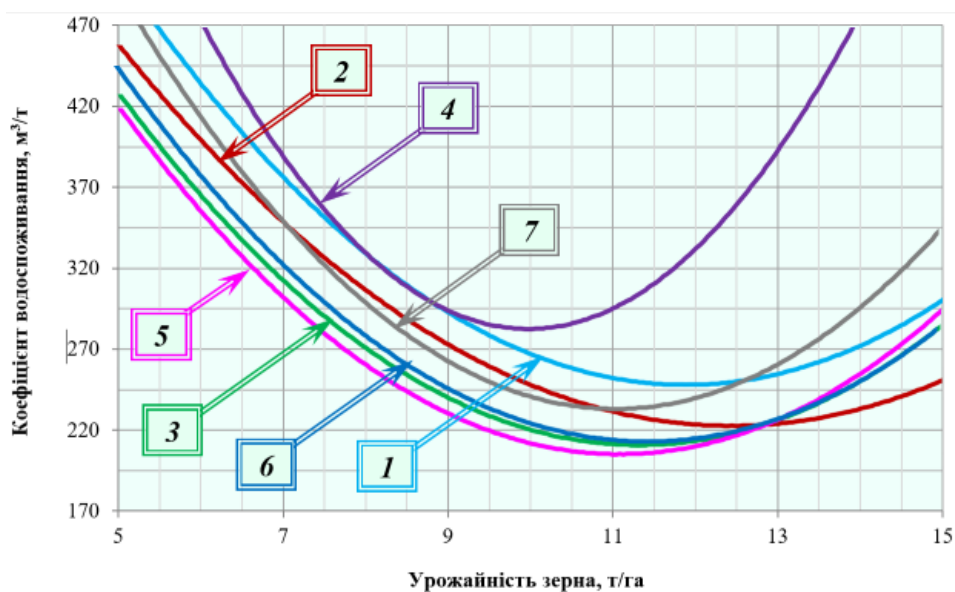


Рис. 4.5. Кореляційно-регресійна залежність між урожайністю зерна кукурудзи та коефіцієнтом водоспоживання посівів досліджуваних гібридів (середнє за 2022–2024 рр.):

- 1 – ДКС 4098 (ФАО 310): $y = 5,3809x^2 - 127,89x + 1007,8$; $R^2 = 0,9991$;
 2 – ДКС 4109 (ФАО 320): $y = 4,5861x^2 - 114,94x + 955,13$; $R^2 = 0,9993$;
 3 – ДКС 4391 (ФАО 350): $y = 6,135x^2 - 141,69x + 1071,6$; $R^2 = 0,9978$;
 4 – ДКС 4598 (ФАО 360): $y = 12,046x^2 - 241,12x + 1490,5$; $R^2 = 0,9536$;
 5 – ДКС 4712 (ФАО 370): $y = 6,6589x^2 - 151,11x + 1113,7$; $R^2 = 0,9944$;
 6 – ДКС 5075 (ФАО 410): $y = 5,821x^2 - 135,63x + 1041,4$; $R^2 = 0,9973$;
 7 – ДКС 5206 (ФАО 420): $y = 7,0612x^2 - 159,15x + 1153,7$; $R^2 = 0,9850$.

Висновки до розділу 4

1. Сумарне водоспоживання посівів кукурудзи значною мірою залежало від агрокліматичних умов року вирощування, зокрема кількості атмосферних опадів і ґрунтових вологозапасів, що зумовило різницю майже втричі між найбільш вологим (2022) і найбільш посушливим (2024) роками. Баланс водоспоживання формувався за участі як атмосферних опадів, так і ґрунтової вологи, причому в умовах дефіциту опадів зростала частка використання ґрунтової вологи, що засвідчує її вирішальне значення у забезпеченні водного режиму рослин.

2. Найменшими витрати води на формування одиниці врожаю визначено за густоти стояння рослин 55–75 тис./га – 308–311 м³/т. Загущення посівів понад 90 тис./га суттєво збільшувало коефіцієнт водоспоживання. Найнижчі його значення забезпечили гібриди ДКС 4391, ДКС 4712 та ДКС 5206, найвищі – гібрид ДКС 4598. Позакореневі підживлення мікродобривами зменшували коефіцієнт водоспоживання на 11–17%. Дещо вищу ефективність забезпечувало мікродобриво Аміно Ультра Кукурудза.

3. Найнижчими значення коефіцієнта водоспоживання визначено при вирощуванні гібридів ДКС 4391, ДКС 4712 і ДКС 5206 за густоти стояння 60–70 тис./га з дворазовим підживленням посівів мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза – 283–288 м³/т.

4. Між сумарним водоспоживанням, коефіцієнтом водоспоживання та врожайністю зерна кукурудзи встановлено дуже сильний кореляційний зв'язок ($R^2 = 0,9791$ – $0,9837$ та $R^2 = 0,9280$ – $0,9995$), що обґрунтовує високу залежність продуктивності культури від вологозабезпеченості рослин.

Публікації за розділом 4

За розділом 4 опубліковано 1 статтю у науковому фаховому виданні України категорії В:

1. Іванів М. О., Сидякіна О. В., **Гамула Є. А.** Вплив густоти стояння рослин та мікродобрив на водоспоживання гібридів кукурудзи в умовах Північного Степу України. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2025. Вип. 3 (48). С. 37–42. DOI: <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2025-3.4> [49].

РОЗДІЛ 5

ПРОДУКТИВНІСТЬ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО ЗАЛЕЖНО ВІД ДОСЛІДЖУВАНИХ ФАКТОРІВ

5.1. Вплив досліджуваних факторів на елементи структури врожаю

Формування врожаю кукурудзи є результатом складної взаємодії генетичних, екологічних та агротехнічних факторів, які впливають на ріст, розвиток і продуктивність рослин. Кількісну оцінку врожаю виражають у вигляді маси зерна з одиниці площі, проте сама структура врожаю складається з низки морфологічних та фізіологічних показників, які визначають рівень продуктивності культури. Знання та керування елементами структури дозволяє не лише досягти високого рівня врожайності, але й забезпечити стабільність виробництва [76, 149, 170, 209].

Оцінка структури врожаю дозволяє оперативно реагувати на порушення в технологічному процесі: встановити, на якому етапі відбулася втрата продуктивності, і вжити коригувальних заходів. Наприклад, низька маса 1000 зерен може свідчити про нестачу азоту в період наливу зерна або про посуху [165, 218], а зменшення кількості зерен у ряду – про стрес у період запилення [223].

У сучасному землеробстві структуру врожаю дедалі частіше використовують не лише як діагностичний, а і як прогностичний інструмент, зокрема при моделюванні врожайності, розрахунку оптимальних густот посіву та зонального добору гібридів [176].

Структура врожаю кукурудзи є не лише результатом реалізації генетичного потенціалу гібриду, а й важливим показником ефективності агротехнології. Її детальний аналіз дозволяє оптимізувати технологію вирощування для досягнення максимально можливого рівня врожайності та високої якості зерна [244].

Збиральна вологість зерна кукурудзи є важливим показником, який

впливає на раціональне використання енергії під час досушування качанів та визначає економічну ефективність виробництва [1, 67]. Оптимальна збиральна вологість зерна для більшості сучасних гібридів кукурудзи становить 18–24%. Саме за таких показників відбувається найменше пошкодження зернівок під час механізованого збирання, збереження схожості та зменшення ризику ураження грибними інфекціями і акумуляції мікотоксинів. Запізнення зі збиранням, яке супроводжується інтенсивним зниженням вологості, призводить до підвищеної крихкості зерна та зростання втрат і пошкоджень під час обмолоту. Водночас, надмірно висока вологість зерна на час збирання вимагає інтенсивного досушування, що збільшує енергозатрати і, у разі неправильного режиму сушіння, може призвести до теплових пошкоджень [188]. Крім того, збиральна вологість зерна впливає на товарну вартість: зерно з вологістю понад стандартні значення (14–15% для зберігання та реалізації) підлягає ціновим знижкам через необхідність додаткового досушування [177].

За результатами проведених досліджень визначено, що збиральна вологість зерна суттєво залежала від генетичних особливостей гібридів, густоти стояння рослин та позакоренових підживлень мікродобривами (табл. 5.1) [51].

Збиральна вологість зерна досліджуваних гібридів кукурудзи у середньому за факторами В і С коливалася в межах від 14,9 до 15,9% (рис. 5.1). Найнижчою її визначено за вирощування гібридів ДКС 4098 (ФАО 310) та ДКС 4109 (ФАО 320) – 14,9%. Зі збільшенням показника ФАО спостерігали тенденцію до підвищення збиральної вологості зерна: гібриди ДКС 4391 (ФАО 350) і ДКС 4598 (ФАО 360) забезпечили її на рівні 15,0–15,1%, а ДКС 4712 (ФАО 370), ДКС 5075 (ФАО 410) та ДКС 5206 (ФАО 420) – 15,4; 15,8 та 15,9% відповідно, що свідчить про пряму кореляцію між групою ФАО і збиральною вологістю зерна. Відмінності у збиральній вологості зерна між досліджуваними гібридами різних груп ФАО узгоджуються із загальноприйнятою закономірністю, яка обумовлена біологічними особливостями гібридів та їх потребою у більш тривалому вегетаційному періоді для повного дозрівання.

**Вплив досліджуваних факторів на збиральну вологість зерна
кукурудзи (середнє за 2022–2024 рр.), %**

Гібрид (фактор А)	Густота стояння рослин, тис./га (фактор В)							
	55	60	65	70	75	80	90	110
Обробка водою – контроль (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	13,9	13,8	13,7	13,7	13,6	13,5	13,5	13,4
ДКС 4109 (ФАО 320)	14,0	13,9	13,8	13,6	13,5	13,5	13,4	13,3
ДКС 4391 (ФАО 350)	14,1	14,0	13,9	13,8	13,7	13,6	13,5	13,4
ДКС 4598 (ФАО 360)	14,2	14,1	14,0	13,9	13,9	13,7	13,7	13,5
ДКС 4712 (ФАО 370)	14,5	14,4	14,3	14,2	14,1	14,0	13,8	13,8
ДКС 5075 (ФАО 410)	14,9	14,8	14,7	14,6	14,5	14,4	14,2	14,1
ДКС 5206 (ФАО 420)	15,1	14,9	14,9	14,7	14,6	14,6	14,4	14,3
Аміно Ультра Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	15,9	15,8	15,8	15,7	15,7	15,5	15,5	15,3
ДКС 4109 (ФАО 320)	16,1	15,9	15,8	15,7	15,6	15,6	15,4	15,4
ДКС 4391 (ФАО 350)	16,1	16,1	16,0	15,8	15,8	15,5	15,5	15,3
ДКС 4598 (ФАО 360)	16,3	16,1	16,0	16,0	15,9	15,7	15,5	15,5
ДКС 4712 (ФАО 370)	16,5	16,4	16,3	16,3	16,1	16,1	16,0	15,8
ДКС 5075 (ФАО 410)	16,8	16,8	16,6	16,6	16,5	16,4	16,3	16,2
ДКС 5206 (ФАО 420)	17,0	17,0	16,7	16,6	16,6	16,5	16,5	16,2
Мікро-Мінераліс Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	15,8	15,6	15,5	15,5	15,4	15,3	15,2	15,2
ДКС 4109 (ФАО 320)	15,8	15,8	15,5	15,4	15,2	15,1	15,1	14,9
ДКС 4391 (ФАО 350)	15,9	15,8	15,7	15,7	15,6	15,5	15,4	15,2
ДКС 4598 (ФАО 360)	16,2	16,0	15,9	15,8	15,7	15,3	15,3	15,2
ДКС 4712 (ФАО 370)	16,3	16,1	16,1	15,8	15,8	15,7	15,7	15,4
ДКС 5075 (ФАО 410)	16,6	16,5	16,4	16,4	16,3	16,2	16,0	15,7
ДКС 5206 (ФАО 420)	16,7	16,7	16,6	16,6	16,3	16,3	16,2	16,1
НІР₀₅, %								
2022 р.: А – 0,16; В – 0,33; С – 0,49; АВ – 0,54; АС – 0,65; ВС – 0,82; АВС – 0,98.								
2023 р.: А – 0,11; В – 1,19; С – 0,35; АВ – 0,41; АС – 0,48; ВС – 0,64; АВС – 0,76.								
2024 р.: А – 0,14; В – 1,26; С – 0,42; АВ – 0,47; АС – 0,56; ВС – 0,75; АВС – 0,93.								

Встановлено чітку закономірність щодо зниження збиральної вологості зерна кукурудзи зі збільшенням густоти стояння рослин. Так, за мінімальної у досліді густоти 55 тис. рослин/га збиральна вологість зерна становила 15,7%, а за максимальної густоти 110 тис. рослин/га даний показник знизився до 14,9% (рис. 5.2).

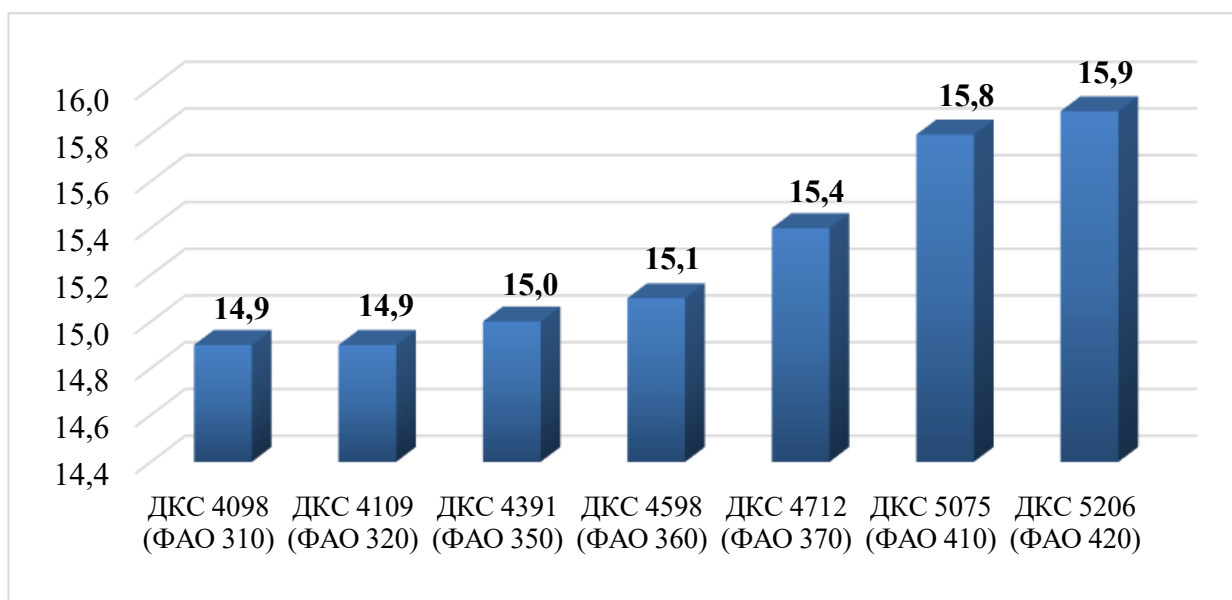


Рис. 5.1. Збиральна вологість зерна гібридів кукурудзи різних груп ФАО у середньому за факторами В і С (середнє за 2022–2024 рр.), %

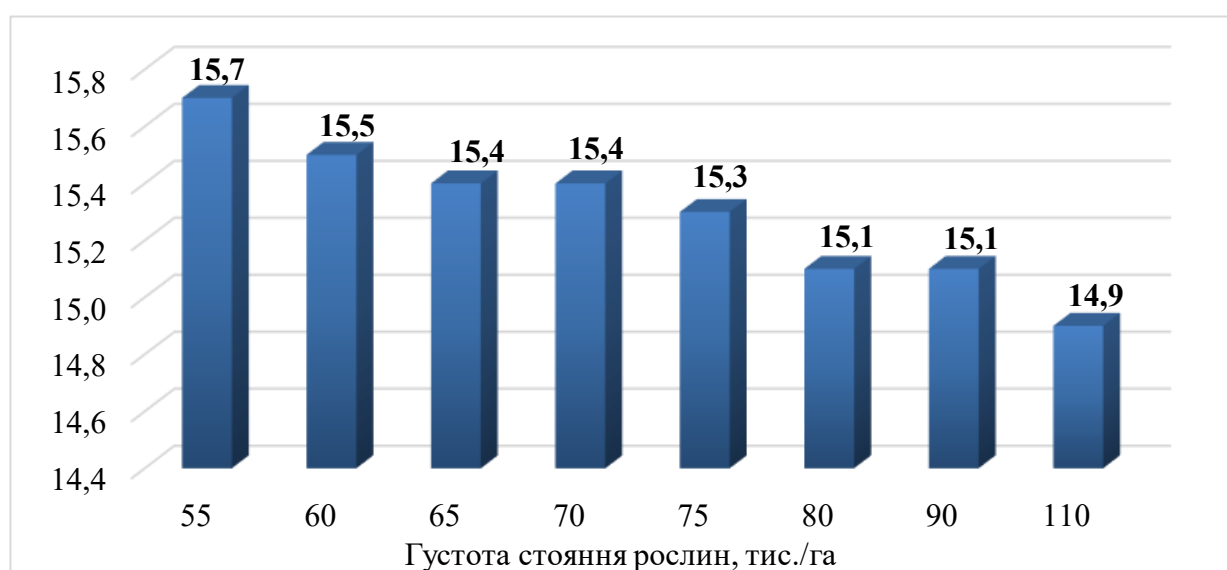


Рис. 5.2. Вплив густоти стояння рослин на збиральну вологість зерна кукурудзи у середньому за факторами А і С (середнє за 2022–2024 рр.), %

Таку закономірність можна пояснити декількома агробіологічними причинами:

– конкуренція за ресурси: у загущених посівах посилюється конкуренція між рослинами за світло, воду та поживні речовини, що призводить до ослаблення окремих рослин, формування меншої маси зерна та пришвидшеного дозрівання, що, в свою чергу, активізує інтенсивну віддачу вологи;

– особливості мікроклімату: у загущених посівах формується специфічний мікроклімат, який впливає на процеси дихання та транспірацію, створюючи всі передумови для фізіологічного стресу рослин;

– фізіологічна реакція: проявляється у тому, що в умовах конкуренції рослини адаптуються, перерозподіляючи наявні ресурси, що зумовлює прискорений налив і дозрівання зерна як механізм виживання, водночас сприяючи зменшенню його вологості.

За результатами досліджень встановлено, що проведення позакореневих підживлень мікродобривами збільшувало збиральну вологість зерна кукурудзи порівняно з контролем. За обробки посівів водою вологість зерна на час збирання становила 14,0%, мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза – 16,0%, а Мікро-Мінераліс Кукурудза – 15,8%, що свідчить про певне подовження періоду вегетації за впливу мікродобрів, пов'язане з інтенсифікацією фізіологічних процесів наливу зерна (рис. 5.3).



Рис. 5.3. Вплив позакореневих підживлень мікродобривами на збиральну вологість зерна кукурудзи у середньому за факторами А і В (середнє за 2022–2024 рр.), %

За результатами досліджень встановлено, що вихід зерна з качанів кукурудзи залежав від особливостей вирощуваних гібридів [50]. Найвищим даний показник забезпечив гібрид ДКС 4712 (ФАО 370) – 81,6% (рис. 5.4). Дещо нижчі, але близькі до максимальних, значення визначено за вирощування

гібридів ДКС 4109 (ФАО 320) та ДКС 4098 (ФАО 310) – 80,6 і 80,4% відповідно. Мінімальні рівні виходу забезпечили гібриди ДКС 5206 (ФАО 420) та ДКС 4598 (ФАО 360) – 78,7 і 78,5%. Одержані дані свідчать про певну варіабельність показника залежно від генетичних особливостей гібридів, що обумовлено відмінностями у морфологічній будові качанів, щільності розміщення зернівок та співвідношенні зернової і стрижневої маси.

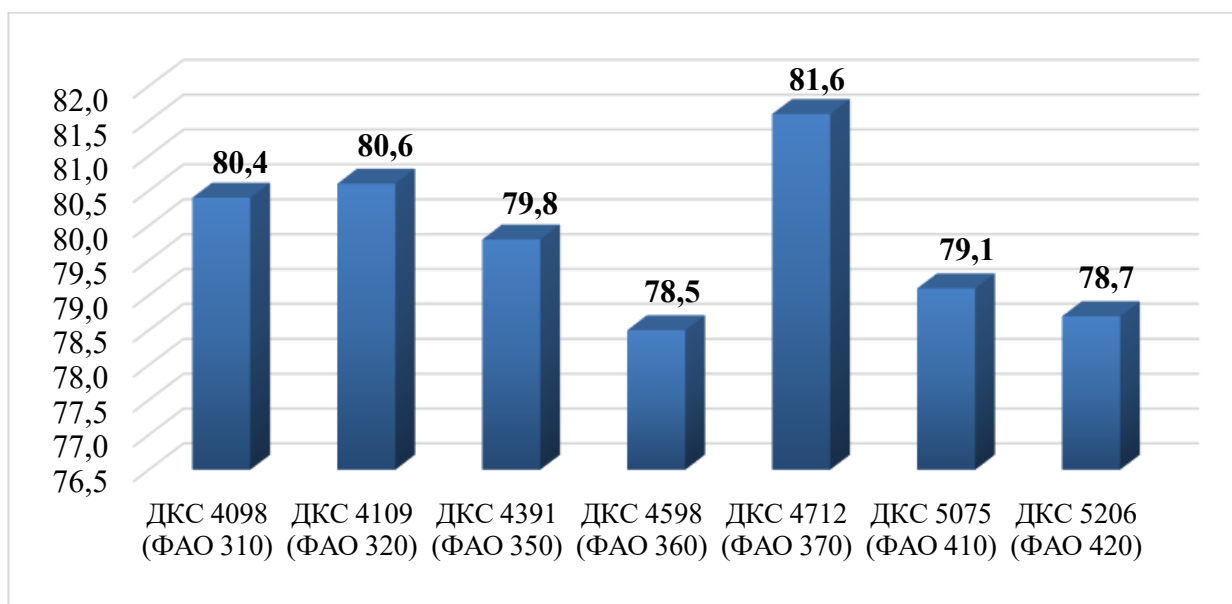


Рис. 5.4. Вихід зерна з качанів гібридів кукурудзи різних груп ФАО у середньому за факторами В і С (середнє за 2022–2024 рр.), %

Встановлено закономірність до зниження виходу зерна з качанів кукурудзи зі збільшенням густоти стояння рослин. Найвищим його визначено за щільності посівів 55 тис. рослин/га – 80,7%, що перевищило аналогічне значення за максимальної густоти стояння рослин (110 тис./га) на 2,2 відсоткових пункти (рис. 5.5). Отримані результати свідчать, що надмірна густота посівів призводить до підвищеної конкуренції рослин за світло, вологу та елементи живлення, негативно позначається на масі зерна з качанів і, відповідно, знижує його вихід.

За результатами досліджень встановлено позитивний вплив позакореневих підживлень мікродобривами на вихід зерна з качанів кукурудзи. У контрольному варіанті з обробкою посівів водою вихід зерна становив 78,9% (рис. 5.6). Проведення позакореневих підживлень мікродобривом Мікро-

Мінераліс Кукурудза збільшило даний показник до 80,0%, що на 1,4 відсоткових перевищило контроль. Ще більшу ефективність за даним елементом структури врожаю визначено за дворазової обробки посівів мікродобрином Аміно Ультра Кукурудза. Вихід зерна у даному варіанті досліді досяг 80,5%, що більше, ніж у контролі, на 2,0 відсоткових пункти. Отримані результати обґрунтовують ефективність використання мікродобрив у технології вирощування кукурудзи.

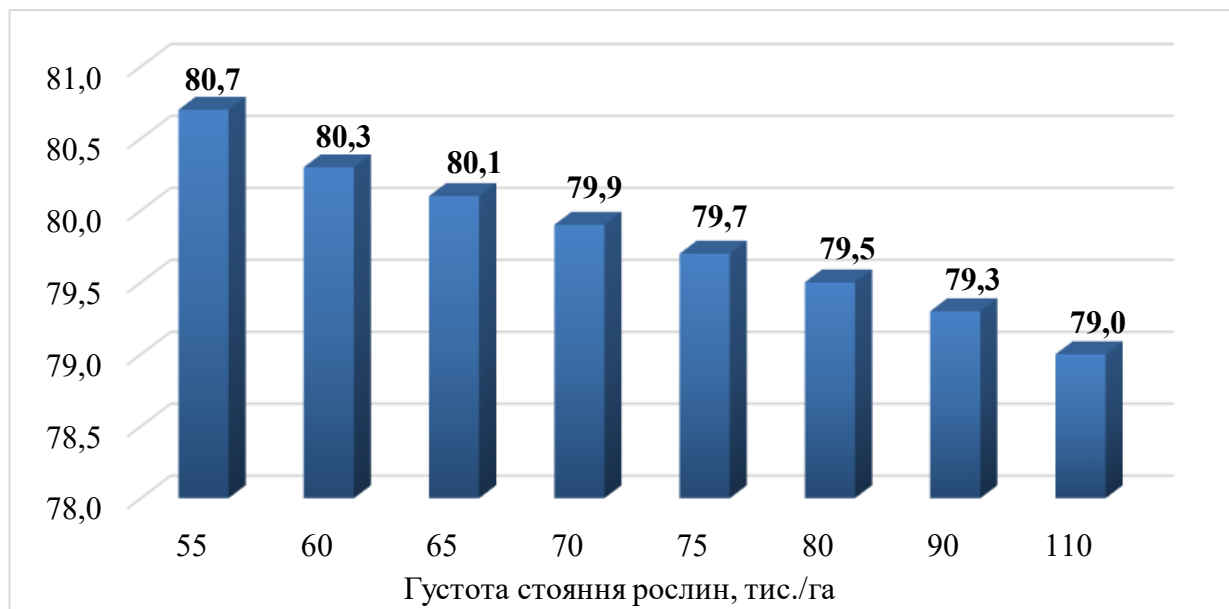


Рис. 5.5. Вплив густоти стояння рослин на вихід зерна з качанів кукурудзи у середньому за факторами А і С (середнє за 2022–2024 рр.), %



Рис. 5.6. Вплив позакореневих підживлень мікродобривами на вихід зерна з качанів кукурудзи у середньому за факторами А і В (середнє за 2022–2024 рр.), %

Максимальний вихід зерна з качанів кукурудзи у досліді одержали за вирощування гібридів ДКС 4109 (ФАО 320) та ДКС 4712 (ФАО 370) у варіантах з густотою стояння рослин 55 тис./га та проведенням двох позакоренових підживлень мікродобрином Аміно Ультра Кукурудза – 82,6–83,2% (табл. 5.2).

Таблиця 5.2

**Вплив досліджуваних факторів на вихід зерна з качанів
кукурудзи (середнє за 2022–2024 рр.), %**

Гібрид (фактор А)	Густота стояння рослин, тис./га (фактор В)							
	55	60	65	70	75	80	90	110
Обробка водою – контроль (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	80,1	80,0	79,9	79,9	79,4	79,3	78,9	78,7
ДКС 4109 (ФАО 320)	80,4	80,2	80,1	79,7	79,4	79,3	79,4	78,9
ДКС 4391 (ФАО 350)	79,2	79,2	79,0	78,9	78,9	78,8	78,7	78,7
ДКС 4598 (ФАО 360)	78,3	78,2	78,1	77,7	77,6	77,1	77,0	76,9
ДКС 4712 (ФАО 370)	81,3	81,1	80,8	80,8	80,6	80,6	80,5	80,2
ДКС 5075 (ФАО 410)	79,3	78,9	78,3	78,3	78,1	77,9	77,9	76,9
ДКС 5206 (ФАО 420)	78,3	78,4	78,3	77,9	77,7	77,3	77,2	76,9
Аміно Ультра Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	81,8	81,5	81,5	81,3	81,3	81,0	80,3	80,0
ДКС 4109 (ФАО 320)	82,6	81,8	81,7	81,3	81,2	80,5	80,4	80,3
ДКС 4391 (ФАО 350)	81,2	80,9	80,8	80,5	80,4	80,4	80,0	79,9
ДКС 4598 (ФАО 360)	80,2	79,4	79,4	79,2	79,1	78,9	78,9	78,3
ДКС 4712 (ФАО 370)	83,2	82,7	82,3	82,1	81,9	81,9	81,8	81,7
ДКС 5075 (ФАО 410)	81,1	80,1	79,9	79,8	79,7	79,6	79,5	78,6
ДКС 5206 (ФАО 420)	80,1	80,0	79,7	79,6	79,4	78,9	78,7	78,2
Мікро-Мінераліс Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	81,2	81,2	81,1	81,0	81,0	80,5	79,8	79,6
ДКС 4109 (ФАО 320)	82,2	81,4	81,2	81,0	80,7	80,0	79,9	79,8
ДКС 4391 (ФАО 350)	80,8	80,3	80,3	79,9	79,9	79,8	79,5	79,6
ДКС 4598 (ФАО 360)	79,7	79,1	78,9	78,7	78,7	78,6	78,4	77,9
ДКС 4712 (ФАО 370)	82,8	82,1	81,9	81,7	81,5	81,3	81,3	81,3
ДКС 5075 (ФАО 410)	80,6	79,6	79,4	79,3	79,2	79,1	79,0	78,1
ДКС 5206 (ФАО 420)	79,7	79,6	79,3	79,1	78,8	78,6	78,3	77,8
НІР ₀₅ , %								
2022 р.: А – 0,49; В – 0,73; С – 0,77; АВ – 1,02; АС – 1,06; ВС – 1,29; АВС – 1,68.								
2023 р.: А – 0,45; В – 0,69; С – 0,74; АВ – 0,95; АС – 1,01; ВС – 1,27; АВС – 1,62.								
2024 р.: А – 0,39; В – 0,62; С – 0,68; АВ – 0,89; АС – 0,96; ВС – 1,20; АВС – 1,57.								

Маса 1000 зерен є важливим елементом структури врожаю, який характеризує потенційну продуктивність культури, визначає ступінь наливу зерна, інтенсивність накопичення сухих речовин та рівень забезпеченості рослин елементами живлення і вологою у критичні фази росту й розвитку. Маса 1000 зерен є інтегральним показником, який поєднує вплив генетичного потенціалу гібриду, погодних умов та елементів технології вирощування. Дослідження даного показника дозволяє об'єктивно оцінити реакцію різних гібридів на умови вирощування, визначити їх адаптивний потенціал і стабільність формування врожаю за різних агрокліматичних умов. Крім того, маса 1000 зерен використовується для розрахунку норми висіву, що безпосередньо впливає на густоту стояння рослин та ефективність використання посівної площі [204, 210].

У середньому за 2022–2024 рр. маса 1000 зерен у досліджуваних гібридів кукурудзи коливалася в межах від 247,5 г у гібрида ДКС 4098 (ФАО 310) до 293,5 г у гібрида ДКС 5206 (ФАО 420) (рис. 5.7). Встановлено закономірність до збільшення маси 1000 зерен зі зростанням тривалості вегетаційного періоду, що обумовлено кращими умовами наливу зерна у гібридів з вищим показником ФАО. Найнижчі значення маси 1000 зерен забезпечили гібриди ДКС 4098 (ФАО 310) і ДКС 4109 (ФАО 320), максимальні – ДКС 5075 (ФАО 410), ДКС 5206 (ФАО 420).

Встановлено закономірність до зменшення маси 1000 зерен зі збільшенням густоти стояння рослин. У зріджених посівах (55 тис./га) даний показник становив 317,6 г, у загущених (110 тис./га) – 229,4 г, що на 88,2 г або 27,8% менше (рис. 5.8). Отримані результати доводять, що загущення посівів погіршує умови наливу зерна і призводить до зниження індивідуальної продуктивності качанів. Проведеним кореляційно-регресійним аналізом встановлено дуже сильну зворотну залежність ($R^2 = 0,9918$) між масою 1000 зерен та густотою стояння рослин (рис. 5.9).

Позакореневі підживлення мікродобривами збільшували масу 1000 зерен. Якщо у контрольному варіанті досліді вона становила 269,8 г, то у варіантах з

проведенням позакоренових підживлень мікродобривами – 283,5–286,9 г, тобто на 13,7–17,1 г або 5,1–6,3% більше.

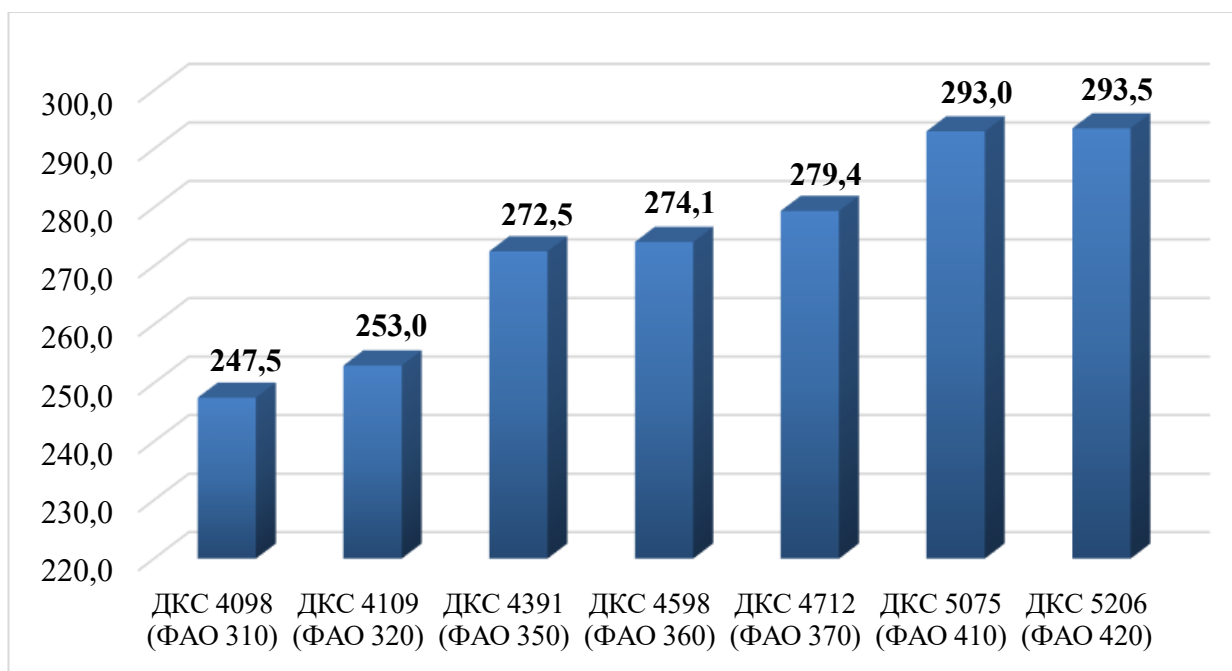


Рис. 5.7. Маса 1000 зерен гібридів кукурудзи різних груп ФАО у середньому за факторами В і С (середнє за 2022–2024 рр.), г



Рис. 5.8. Вплив густоти стояння рослин на масу 1000 зерен у середньому за факторами А і С (середнє за 2022–2024 рр.), г

Максимальні показники маси 1000 зерен забезпечили варіанти досліду з використанням мікродобрива Аміно Ультра Кукурудза. Отримані дані свідчать про позитивний вплив позакоренових підживлень мікродобривами на процеси

наливу зерна, що обумовлено покращенням мінерального живлення рослин у критичні періоди формування врожаю.

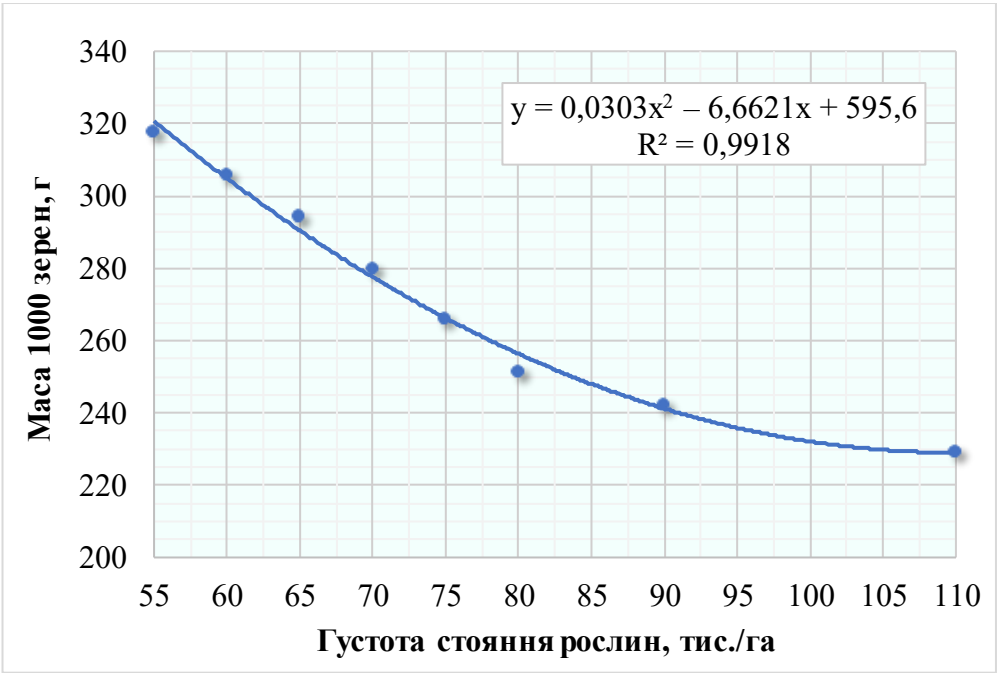


Рис. 5.9. Кореляційно-регресійна залежність між масою 1000 зерен та густотою стояння рослин (середнє за 2022–2024 рр.)

Максимальні показники маси 1000 зерен у досліді забезпечили гібриди ДКС 5075 (ФАО 410) та ДКС 5206 (ФАО 420) за густоти стояння рослин 55 тис./га з проведенням дворазової обробки посівів мікродобрином Аміно Ультра Кукурудза – 347,7 г і 345,6 г відповідно (табл. 5.3).

Таблиця 5.3

**Маса 1000 зерен залежно від досліджуваних факторів
(середнє за 2022–2024 рр.), г**

Гібрид (фактор А)	Густота стояння рослин, тис./га (фактор В)							
	55	60	65	70	75	80	90	110
<i>I</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>
Обробка водою – контроль (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	277,3	269,2	267,6	249,0	248,2	221,4	219,2	203,3
ДКС 4109 (ФАО 320)	277,7	275,0	269,3	250,4	246,2	236,7	225,8	218,1
ДКС 4391 (ФАО 350)	331,1	308,0	302,5	268,5	254,3	248,0	231,2	208,2
ДКС 4598 (ФАО 360)	293,7	293,7	288,4	283,6	266,3	254,2	246,2	237,6
ДКС 4712 (ФАО 370)	330,1	309,1	305,4	300,8	260,3	244,8	239,4	216,0

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ДКС 5075 (ФАО 410)	335,4	317,6	290,8	288,8	288,5	266,6	264,5	261,0
ДКС 5206 (ФАО 420)	333,4	331,1	305,6	291,6	275,9	271,7	255,2	252,7
Аміно Ультра Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	287,5	278,3	275,8	255,9	254,3	226,1	223,4	206,6
ДКС 4109 (ФАО 320)	287,9	284,3	277,5	257,3	252,2	241,7	230,1	221,6
ДКС 4391 (ФАО 350)	343,2	318,3	311,7	275,9	260,5	253,3	235,6	211,5
ДКС 4598 (ФАО 360)	304,5	303,6	297,2	291,4	272,8	259,6	250,9	241,4
ДКС 4712 (ФАО 370)	342,2	319,5	314,7	309,0	266,6	250,0	244,0	219,5
ДКС 5075 (ФАО 410)	347,7	328,2	299,7	296,7	295,5	272,2	269,5	265,1
ДКС 5206 (ФАО 420)	345,6	342,2	314,9	299,6	282,6	277,4	260,1	256,7
Мікро-Мінераліс Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	283,9	273,9	271,2	251,5	250,7	223,1	218,9	202,7
ДКС 4109 (ФАО 320)	283,2	279,8	272,9	253,2	248,6	237,9	226,2	218,4
ДКС 4391 (ФАО 350)	339,8	313,6	307,1	272,3	256,2	249,6	232,1	208,3
ДКС 4598 (ФАО 360)	301,3	299,4	293,4	287,8	269,5	255,7	247,5	238,2
ДКС 4712 (ФАО 370)	338,3	315,4	310,5	304,9	262,9	246,9	240,6	215,8
ДКС 5075 (ФАО 410)	343,4	323,9	295,7	292,3	291,2	268,8	266,3	261,5
ДКС 5206 (ФАО 420)	341,8	338,3	311,2	295,6	278,7	273,5	256,2	253,0
НІР ₀₅ , г								
2022 р.: А – 3,16; В – 2,77; С – 2,55; АВ – 4,20; АС – 4,06; ВС – 3,77; АВС – 4,92.								
2023 р.: А – 3,12; В – 2,73; С – 2,48; АВ – 4,15; АС – 3,99; ВС – 3,69; АВС – 4,83.								
2024 р.: А – 3,08; В – 2,67; С – 2,39; АВ – 4,08; АС – 3,90; ВС – 3,58; АВС – 4,73.								

Достовірність отриманих результатів підтверджують значення НІР₀₅ для окремих факторів та їх взаємодій: найбільший вплив мав фактор «гібрид» (А), водночас істотними виявилися і взаємодії АВ та АВС, що обґрунтовує комплексний характер впливу досліджуваних факторів на формування маси 1000 зерен.

5.2. Вплив густоти рослин та позакоренових підживлень мікродобривами на врожайність зерна гібридів кукурудзи

У зв'язку зі зростанням попиту на кукурудзу як стратегічно важливу культуру для агропромислового комплексу України та світу, особливої актуальності набуває проблема підвищення її врожайності в умовах

кліматичних змін, що проявляються, зокрема, у зростанні посушливості в підзоні Північного Степу. Одним із ефективних шляхів розв'язання цієї проблеми є вдосконалення елементів технології вирощування шляхом регулювання густоти стояння рослин і створення оптимального фону живлення за рахунок позакоренових підживлень мікродобривами.

Гібриди кукурудзи різних груп стиглості (ФАО) по-різному реагують на зміну умов живлення та просторового розміщення, що обумовлює необхідність диференційованого підходу до формування агротехнічних рішень. Вивчення взаємодії зазначених факторів сприятиме більш ефективному використанню агроекологічного потенціалу регіону та підвищенню продуктивності виробництва на засадах ресурсозбереження.

Одним із важливих елементів агротехнології вирощування кукурудзи є регулювання густоти стояння рослин, оскільки саме вона значною мірою визначає ефективність використання ґрунтових ресурсів, вологи, тепла та світла. Оптимальна густота посівів залежить не лише від загальних рекомендацій, а й від конкретних агроекологічних умов і біологічних особливостей вирощуваних гібридів. Досягнення високого рівня врожайності можливе лише за поєднання максимальної індивідуальної продуктивності рослин із оптимальною щільністю посівів для кожного регіону [20].

За результатами досліджень, проведених на чорноземі типовому у Полтавській області, обґрунтовано істотний вплив густоти стояння рослин і генотипу гібриду на масу 1000 зерен і врожайність кукурудзи. Так, гібриди Зедан 26 (ФАО 240) і Зедан 28 (ФАО 260) сформували максимальний рівень урожайності зерна за густоти стояння рослин 90 тис./га., а гібрид Зедан 32 (ФАО 320) – за густоти 80 тис./га [16].

У ґрунтово-кліматичних умовах північно-східного Лісостепу України гібриди кукурудзи ДКС 3050 (ФАО 200) і ДКС 4608 (ФАО 380) сформували максимальний рівень урожайності за щільності посівів 90 тис. росл./га, а гібрид ДКС 3730 (ФАО 280) – 80 тис. росл./га. Гібрид ДКС 4351 (ФАО 350) здатен забезпечувати високу стабільність урожайності в діапазоні густоти 70–90 тис.

росл./га, що свідчить про його низьку чутливість до зміни щільності посівів і, відповідно, характеризує високу адаптивність до мінливості агротехнічних умов [21].

Суттєвий вплив густоти стояння рослин на формування врожайності зерна кукурудзи визначено результатами численних досліджень, зокрема Жемели Г. П. та ін. [38], Цілюрика О. І. і Тищенко В. О. [129], Лавріненко І. Г. та Лісового В. М. [65], що узгоджується з положенням про те, що кожному гібриду властива притаманна оптимальна густина посіву, з перевищенням якої спостерігається зниження продуктивності внаслідок зменшення площі живлення, особливо для середньостиглих і пізньостиглих гібридів, менш толерантних до загущення.

Важливим чинником збільшення зернової продуктивності кукурудзи є використання в агротехнології її вирощування мікродобрих. Результатами численних досліджень [77, 88, 113] підтверджено позитивний вплив мікроелементів на фізіологічні процеси рослин, що сприяє формуванню більш продуктивного агрофітоценозу. Так, позакореневі підживлення кукурудзи, які проводили у фазі 3–5 листків сумішшю КАС з мікродобривами «Авангард Р Кукурудза» та «Мікро-Мінераліс Кукурудза», збільшували площу листової поверхні, масу качана та масу 1000 зерен. Як результат, урожайність гібридів кукурудзи ФАО 320 зросла на 0,29–0,97 т/га порівняно з контролем [66].

Дослідженнями, проведеними в умовах Західного Лісостепу України, встановлено, що застосування мікродобрива «Урожай зерно» по фоні основного внесення макродобрих позитивно позначається на висоті рослин, висоті кріплення качана, кількості рядів зерен у качані та кількості зерен у ряді [40].

Дворазове підживлення посівів кукурудзи водорозчинними мікродобривами «Нутрімікс» і «Нутрібор» в ґрунтово-кліматичних умовах Лівобережного Лісостепу України по фоні основного удобрення макродобривами ($N_{158}P_{52}K_{52}$) суттєво підвищувало врожайність та покращувало основні показники якості зерна [37].

Тобто, позакореневі підживлення посівів мікродобривами є ефективним елементом у сучасних технологіях вирощування кукурудзи, що підвищує її зернову продуктивність. Оптимізація мікроелементного живлення рослин з урахуванням специфіки гібридів та агроекологічних умов вирощування дозволяє максимально реалізувати потенціал урожайності цієї культури.

Підвищення врожайності сільськогосподарських культур, зокрема кукурудзи, є однією з найактуальніших проблем сучасного аграрного виробництва, що обумовлено не лише необхідністю збільшення валових зборів зерна для задоволення продовольчих, кормових та енергетичних потреб, а й прагненням агровиробників до зниження собівартості продукції, підвищення ефективності виробництва та конкурентоспроможності на ринку. Особливої актуальності це набуває в умовах зростання вартості ресурсів та змінних погодних умов, які в останні роки значно впливають на врожайність вирощуваних культур.

Рівень урожайності кукурудзи визначається комплексною взаємодією генотипу гібрида, елементів технології вирощування, родючості ґрунту, забезпеченості елементами живлення, умов вологозабезпеченості, а також мікроклімату конкретного регіону. Першочерговим фактором, який дозволяє адаптувати культуру до конкретного агроекологічного середовища і забезпечити отримання сталих рівнів урожаю, є добір гібридів з високим потенціалом продуктивності та стійкістю до стресових чинників. Кожен окремо взятий гібрид має специфічну реакцію на зміну густоти стояння рослин. Оптимальна щільність посіву дозволяє максимально реалізувати потенціал конкретного генотипу, а її перевищення призводить до надмірної конкуренції рослин за світло, вологу та поживні речовини, що може зумовити зниження рівня врожайності. Різну реакцію на густоту стояння рослин визначено і за вирощування гібридів різних груп ФАО марки ДЕКАЛБ у нашому досліді (табл. 5.4).

В усі роки досліджень простежували закономірність зменшення рівня сформованої врожайності зерна за надмірного загущення посівів, що особливо

помітно проявилось у найбільш несприятливому за зволоженням 2024 році (рис. 5.10).

Таблиця 5.4

Урожайність зерна гібридів кукурудзи різних груп ФАО залежно від досліджуваних факторів (середнє за 2022–2024 рр.), т/га

Гібрид (фактор А)	Густота стояння рослин, тис./га (фактор В)							
	55	60	65	70	75	80	90	110
Обробка водою – контроль (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	7,76	7,71	7,57	8,00	7,90	7,83	7,49	7,37
ДКС 4109 (ФАО 320)	7,40	7,92	7,87	8,01	7,92	7,62	7,61	7,53
ДКС 4391 (ФАО 350)	7,86	7,92	8,02	7,98	7,83	7,57	7,34	7,10
ДКС 4598 (ФАО 360)	7,77	7,59	7,59	7,35	7,47	7,46	7,00	6,68
ДКС 4712 (ФАО 370)	7,85	8,00	8,05	7,84	8,03	7,66	7,37	6,96
ДКС 5075 (ФАО 410)	7,65	7,64	7,85	7,77	7,77	7,81	7,52	7,41
ДКС 5206 (ФАО 420)	7,93	8,00	8,02	7,71	7,66	7,43	7,49	7,17
Аміно Ультра Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	8,89	8,85	8,68	9,17	9,08	8,90	8,76	8,45
ДКС 4109 (ФАО 320)	8,53	9,10	9,04	9,20	9,10	8,71	8,84	8,23
ДКС 4391 (ФАО 350)	9,06	9,11	9,19	9,18	9,00	8,73	8,49	8,08
ДКС 4598 (ФАО 360)	8,91	8,73	8,72	8,45	8,60	8,63	8,11	7,67
ДКС 4712 (ФАО 370)	9,01	9,22	9,24	8,99	9,22	8,77	8,62	7,92
ДКС 5075 (ФАО 410)	8,78	8,78	9,01	8,92	8,93	8,89	8,76	8,37
ДКС 5206 (ФАО 420)	9,13	9,21	9,22	8,87	8,82	8,58	8,72	8,33
Мікро-Мінераліс Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	8,62	8,58	8,41	8,90	8,80	8,62	8,40	8,11
ДКС 4109 (ФАО 320)	8,30	8,82	8,78	8,94	8,82	8,44	8,48	7,91
ДКС 4391 (ФАО 350)	8,82	8,85	8,92	8,91	8,73	8,45	8,16	7,77
ДКС 4598 (ФАО 360)	8,66	8,48	8,47	8,21	8,36	8,36	7,81	7,41
ДКС 4712 (ФАО 370)	8,77	8,95	8,98	8,73	8,94	8,50	8,28	7,63
ДКС 5075 (ФАО 410)	8,52	8,53	8,74	8,67	8,67	8,62	8,42	8,06
ДКС 5206 (ФАО 420)	8,87	8,94	8,95	8,61	8,55	8,30	8,38	8,04
НІР ₀₅ , т/га								
2022 р.: А – 0,16; В – 0,11; С – 0,20; АВ – 0,19; АС – 0,26; ВС – 0,23; АВС – 0,28								
2023 р.: А – 0,12; В – 0,09; С – 0,18; АВ – 0,15; АС – 0,22; ВС – 0,20; АВС – 0,23								
2024 р.: А – 0,09; В – 0,08; С – 0,16; АВ – 0,12; АС – 0,18; ВС – 0,18; АВС – 0,20								

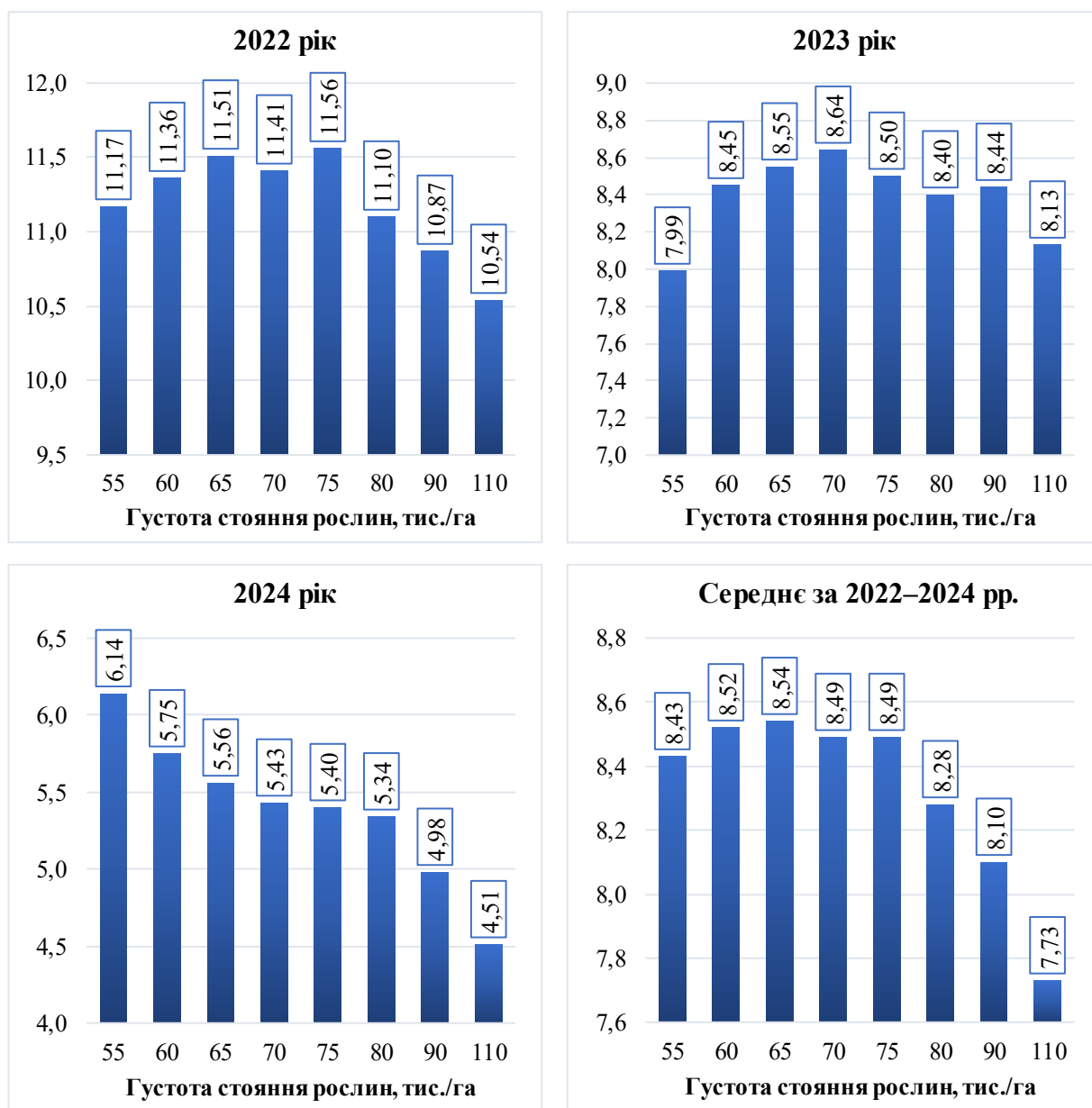


Рис. 5.10. Вплив густоти стояння рослин на врожайність зерна кукурудзи у середньому за фактором, т/га

У відносно сприятливому за умовами зволоження 2022 р. урожайність вирощуваних у досліді гібридів зростала до густоти рослин 75 тис./га, за якої досягла максимуму – 11,56 т/га у середньому за фактором. Подальше загушення посівів дещо знижувало зернову продуктивність з мінімальним значенням за густоти стояння рослин 110 тис./га – 10,54 т/га.

У менш зволоженому 2023 р. найвищий рівень урожайності зерна кукурудзи в наших дослідженнях визначено за густоти стояння рослин 70 тис./га – 8,64 т/га. Подальше ущільнення посівів унаслідок внутрішньо-

видової конкуренції рослин знижувало зернову продуктивність культури. Одночасно слід зазначити, що за мінімальної густоти рослин (55 тис./га) рівень урожайності формувався ще нижчим, забезпечивши 7,99 т/га зерна, що на 0,65 т/га менше порівняно з густотою 70 тис./га.

За найбільш посушливих умов 2024 р. надмірне загущення посівів (90 і 110 тис./га) призвело до різкого зниження врожайності порівняно з менш загущеними посівами – 4,98 та 4,51 т/га відповідно, що на 19–27% нижче, ніж за густоти стояння рослин 55 тис./га, яка забезпечила максимальний рівень урожайності зерна у даному році – 6,14 т/га, що вказує на доцільність зменшення щільності посівів у роки з високим ризиком посухи.

Оптимальна густота стояння рослин кукурудзи для зони вирощування, за результатами трирічних досліджень, склала 60–75 тис./га. У межах цього діапазону рослини здатні найбільш ефективно використовувати площу живлення, світло, воду та поживні елементи. За екстремальних погодних умов густоту стояння рослин доцільно зменшувати до 55 тис./га, а загущення посівів понад 80 тис./га слід уникати через зростаючий ризик істотного зниження рівня врожайності.

Важливою складовою у технологіях вирощування є забезпечення рослин мікроелементами, які беруть активну участь у всіх фізіолого-біохімічних процесах, що протікають у рослинному організмі. Дефіцит мікроелементів негативно позначається на фотосинтетичній активності, розвитку генеративних органів та формуванні зернової продуктивності. У зв'язку з цим, позакореневі підживлення мікродобривами набувають дедалі більшого значення у сучасних технологіях вирощування кукурудзи, що підтверджено і результатами проведених нами досліджень з гібридами марки ДЕКАЛБ різних груп ФАО. В усі роки досліджень встановлено суттєвий приріст урожайності зерна у варіантах досліду з проведенням позакореневих підживлень мікродобривами відносно контролю з обробкою посівів водою, що обґрунтовує їх високу ефективність у підвищенні продуктивності кукурудзи (рис. 5.11).

У середньому за три роки досліджень найвищий рівень урожайності

отримано від застосування мікродобрива Аміно Ультра Кукурудза – 8,79 т/га у середньому за фактором, що на 1,14 т/га або 14,9% перевищило контроль. Дещо нижчі показники врожайності зерна, але достовірно вищі за контроль, визначено за використання мікродобрива Мікро-Мінераліс Кукурудза – 8,52 т/га, що на 0,87 т/га або 11,4% більше порівняно з контролем (7,65 т/га).

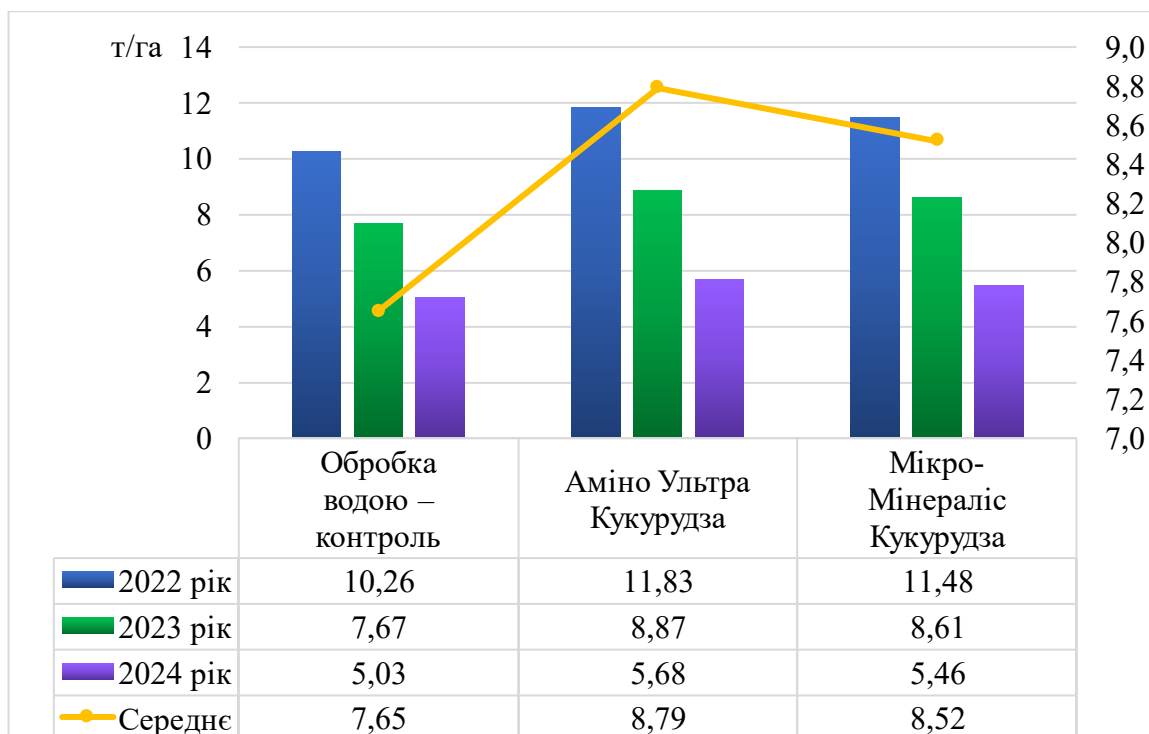


Рис. 5.11. Вплив позакоренових підживлень на врожайність зерна кукурудзи у середньому за фактором, т/га

Сформовані рівні врожайності зерна в окремі роки досліджень характеризуються подібними закономірностями: в умовах 2022 р. обидва досліджувані мікродобрива забезпечили приріст понад 1,2 т/га порівняно з контролем. У 2023 р. різниця зберігалася на рівні 1,2–1,4 т/га, а в 2024 р., незважаючи на отримання найнижчої врожайності, перевага варіантів досліду з проведенням позакоренових підживлень зберігалася на рівні 0,4–0,6 т/га, що засвідчує стабільність ефекту мікродобрив навіть за дуже посушливих умов вегетації.

Результати сформованої врожайності зерна кукурудзи за 2022–2024 рр. свідчать про істотний вплив погодних умов на продуктивність гібридів, узятих на вивчення. Впродовж трьох вегетаційних періодів простежується загальна

тенденція до зниження врожайності. Особливо виразно це проявилось у 2024 р., що зумовлено несприятливими погодними умовами – дефіцитом вологи та високими температурами у критичні фази росту й розвитку кукурудзи.

У 2022 р. вирощувані у досліді гібриди сформували врожайність зерна в межах від 10,84 (ДКС 4098 (ФАО 310)) до 11,57 т/га (ДКС 4391 (ФАО 350)) у середньому за фактором (рис. 5.12).

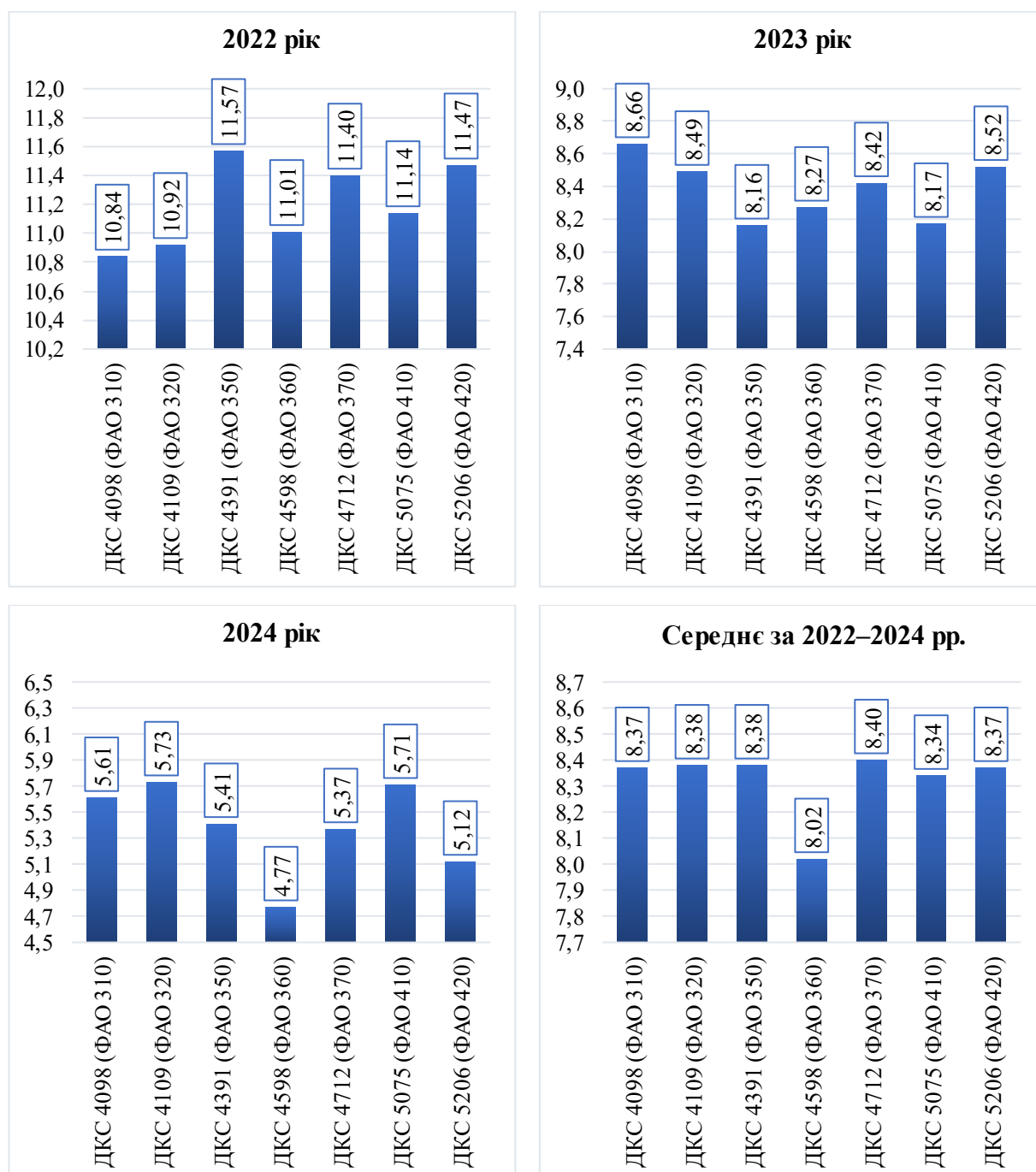


Рис. 5.12. Урожайність зерна гібридів кукурудзи різних груп ФАО у середньому за фактором, т/га

У 2023 р. рівень урожайності отримано на 2,18–3,41 т/га нижчим з найбільш продуктивним гібридом ДКС 4098 (ФАО 310), а у 2024 р. – вдвічі нижчим порівняно з середнім за зволоженістю 2023 р. Незважаючи на коливання рівнів урожайності за роками досліджень, усереднені показники за три роки сформовані досить близькими – у межах 8,02–8,40 т/га. З огляду на одержані результати, важливо враховувати не лише потенційно високі рівні врожайності в окремі роки, а й стійкість гібридів до стресових умов з метою послаблення ризиків у виробництві.

Узагальнюючи трирічні результати досліджень, можна стверджувати, що максимальні рівні врожайності зерна кукурудзи забезпечує поєднання таких факторів, як добір високопродуктивних гібридів, густоти стояння в межах 60–75 тис. рослин/га та проведення двох позакоренових підживлень мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза.

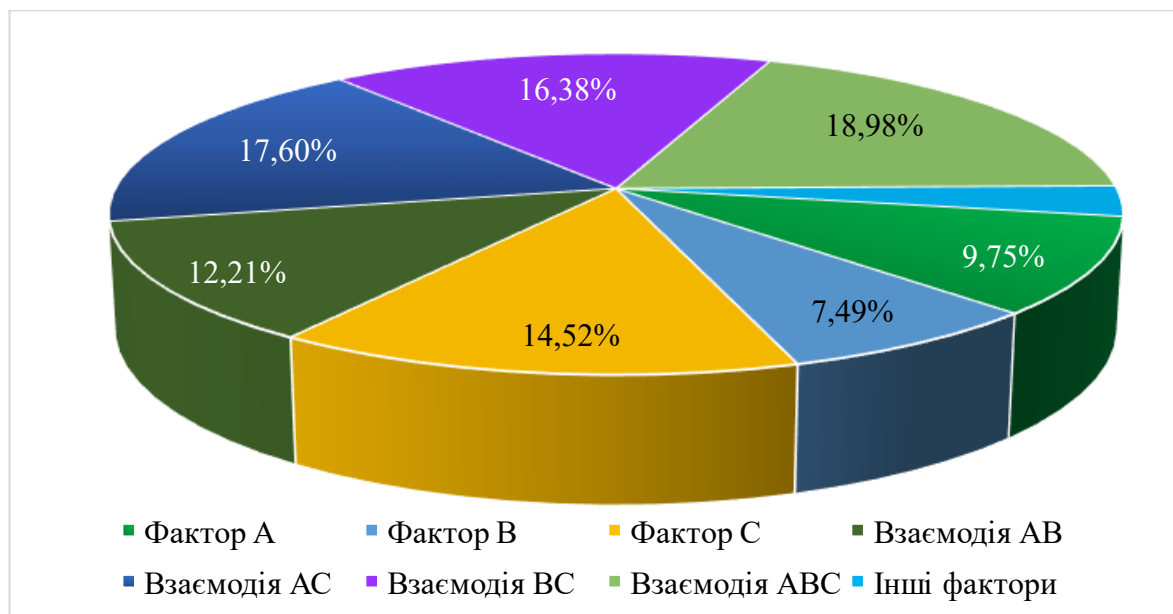


Рис. 5.13. Частка впливу досліджуваних факторів на формування врожайності зерна кукурудзи (середнє за 2022–2024 рр.), %

Максимальну врожайність зерна кукурудзи у досліді сформували гібриди ДКС 4712 (ФАО 370) та ДКС 5206 (ФАО 420) за густоти стояння рослин 60–65 тис./га та проведення дворазового підживлення посівів мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза – 9,21–9,24 т/га. Близькі рівні врожайності зерна забезпечили гібриди ДКС 4109 (ФАО 320) за густоти 70 тис./га та ДКС 4391

(ФАО 350) за густоти 65–70 тис./га у варіантах досліду з використанням для підживлень цього ж мікродобрива – 9,18–9,20 т/га.

За результатами проведеного дисперсійного аналізу нами визначено частку впливу досліджуваних факторів на формування врожайності зерна кукурудзи (рис. 5.13). Найбільш впливовим чинником щодо формування врожайності, як в окремі роки досліджень, так і в середньому за три роки, була взаємодія всіх факторів (ABC), а також подвійні взаємодії AC і BC, що обґрунтовує високу залежність отриманих результатів від правильного добору гібриду, густоти стояння рослин та мікродобрива. Вплив кожного фактору окремо (A, B чи C) визначено меншим, що свідчить про важливість комплексного підходу до елементів технології вирощування кукурудзи.

5.3. Формування показників якості зерна кукурудзи за впливу досліджуваних факторів

За сучасних умов глобальних кліматичних змін, посилення конкуренції на аграрному ринку та необхідності забезпечення продовольчої й енергетичної безпеки питання якості зерна кукурудзи привертає до себе все більшої уваги. У зв'язку з трансформацією агровиробництва від екстенсивної до інтенсивної моделі, орієнтованої на стабільні рівні врожайності та високу якість продукції, виникає потреба в удосконаленні агротехнологій вирощування кукурудзи з урахуванням показників якості у загальній оцінці. Особливої актуальності набуває дослідження взаємозв'язку між показниками якості зерна та окремими елементами технології, зокрема добором гібридів, густотою стояння рослин та рівнем живлення [1, 62, 170, 226, 238].

Одним із провідних факторів, який впливає на якість зерна, є генетичний потенціал гібридів кукурудзи. Сучасні гібриди різняться за типом зерна, стійкістю до абіотичних і біотичних стресів, рівнем накопичення білка, олії та крохмалю. Добір гібридів відповідно до ґрунтово-кліматичних умов та цільового призначення врожаю (корм, переробка, експорт) є важливим

чинником не лише для отримання високого рівня врожайності, а і для забезпечення необхідних параметрів якості зерна [172, 202, 217, 225, 231, 253].

У кукурудзяному поясі США протягом 2020–2021 рр. було проведено вісімнадцять дослідів, у кожному з яких оцінювали 40 гібридів кукурудзи із середнім вегетаційним періодом 103 дні, які були комерційно створені з 1980 по 2020 рр. компанією Bayer Crop Science. За результатами досліджень було визначено, що вміст білка в зерні до 2008 р. знизився з 9,2% до 7,7% (генетичний спад $\sim 0,05\%$ на рік), вміст крохмалю до 2000 р. збільшився з 71% до 73% і після цього стабілізувався. Вміст олії в зерні знаходився практично на однаковому рівні. Одночасно, за рахунок зростання врожайності умовний вихід білка з гектару посівів значно збільшився [172].

Одним із важливих напрямів покращення якості зерна є впровадження у виробництво Quality Protein Maize (QPM) – гібридів із підвищеним вмістом лізину і триптофану. QPM-зерно містить приблизно вдвічі більше цих амінокислот, а біологічна цінність протеїну досягає $\sim 80\%$ порівняно з $\sim 45\%$ у стандартного зерна, що значно підвищує продовольчу і кормову цінність кукурудзи [211]. За вирощування QPM-гібридів, наприклад TZEEQI 468 \times TZEEQI 321, формується стабільно високий рівень урожайності зерна кукурудзи з високими показниками якості, навіть в умовах недостатнього азотного живлення або ураження посівів паразитичним бур'яном *Striga hermonthica* (Del.) Benth [228]. Про високу білково-енергетичну цінність зерна зі збалансованим амінокислотним складом QPM-гібридів повідомляють й інші дослідники [215, 281].

Густота стояння рослин визначає умови живлення, світлового режиму та формування асиміляційної поверхні, що безпосередньо впливає на синтез органічних речовин у зерні. Загущення посівів сприяє кращій фотосинтетичній активності, проте за межами оптимальних значень може призвести до внутрішньовидової конкуренції та зниження індивідуальної продуктивності рослин [156]. Для досягнення максимальної продуктивності агроценозу необхідно знаходити баланс між повним використанням ресурсів і

запобіганням негативним наслідкам конкуренції. Оптимальна густота рослин дозволяє максимізувати загальну продуктивність посіву за рахунок більш ефективного використання ресурсів [164, 256].

За результатами експериментальних досліджень, проведених представниками компанії «Лімагрейн» в ґрунтово-кліматичних умовах Центрального Лісостепу України, встановлено, що збільшення густоти стояння рослин кукурудзи призводить до підвищеної конкуренції за світло, вологу та елементи живлення, що негативно позначається на формі качанів, кількості в них зерен та їх масі. Так, загушення посівів кукурудзи з 60 до 100 тис./га зменшує індивідуальну продуктивність рослин в 1,5–1,8 рази [6]. Надмірне загушення посівів призводить до зменшення вмісту в зерні кукурудзи білка та жиру на 4–11%, збільшення вмісту крохмалю на 0,65–2,00% та розчинних цукрів на 39–69% [274], а також до підвищення вологості зерна [135].

Незважаючи на зниження загальної врожайності та ефективності використання площі у зріджених посівах кукурудзи, такий елемент технології вирощування має низку позитивних впливів на показники якості зерна. У розріджених посівах формується більша площа живлення, що зменшує конкуренцію рослин за поживні речовини; спостерігається краща освітленість листової поверхні, що сприяє більш тривалому функціонуванню нижніх листків і накопиченню асимілятів; посіви краще забезпечуються вологою, що особливо важливо в умовах нестійкого зволоження; як результат – покращуються показники якості зерна. Так, за результатами досліджень, проведених у ґрунтово-кліматичних умовах північного сходу Китаю, встановлено, що зниження густоти стояння рослин з 80 до 50 тис./га призводило до суттєвого збільшення маси 1000 зерен та зростання вмісту білка в зерні [187].

У зріджених посівах відбувається кращий повітрообмін, зростає ефективність транспірації і спостерігаються менші ризики самозатінення рослин, що, в свою чергу, сприяє зниженню вологості зерна на момент збирання, зменшенню ураження качанів грибними патогенами, кращим умовам

дозрівання зерна до стану фізіологічної стиглості, формуванню зерна з високими показниками якості [63, 164, 288]. Так, за результатами досліджень Jiang та ін. [186] з високопродуктивним для умов Китаю гібридом кукурудзи Zhengdan 958 встановлено, що зменшення густоти стояння рослин з 90 до 60 тис./га призвело до збільшення вмісту білка в зерні на 0,7%, а вмісту жиру – на 0,3%.

Для комплексного управління якістю зерна, крім регулювання густоти посівів, не менш важливе значення має створення оптимального фону живлення, у тому числі проведення позакоренових підживлень мікродобривами, які регулюють метаболічні процеси та безпосередньо впливають на синтез та накопичення поживних речовин [250].

Позакореневі підживлення посівів кукурудзи мікроелементами (цинком, залізом, селеном та азотом) в ґрунтово-кліматичних умовах Китаю збільшували концентрацію цих елементів у зерні без зниження рівня врожайності. Так вміст Zn збільшився з 13,8 до 22,1 мг/кг, Fe – з 17,2 до 22,1 мг/кг, Se – з 21,4 до 413,5 мкг/кг, N – з 13,8 до 14,7 г/кг. Одночасно зменшився вміст фітинової кислоти (ФК) та співвідношення ФК/Fe і ФК/Zn, що свідчить про збільшення біодоступності Zn та Fe у зерні [277].

За результатами досліджень у Підкарпатському сільськогосподарському дорадчому центрі в Богухвалі (Польща) визначено, що позакореневе внесення цинку, бору та міді суттєво покращувало хімічний склад зерна кукурудзи: зростає вміст білка, крохмалю, клітковини, а також концентрація мікроелементів і антиоксидантна активність. Zn стимулював накопичення каротиноїдів, а Fe і Mo посилювали антиоксидантні властивості та рівень біоактивних сполук [185].

Аналітичний огляд наукових публікацій з бази даних Web of Science, проведений угорськими дослідниками, засвідчив, що позакореневі підживлення мікродобривами у критичні фази росту і розвитку позитивно позначаються на вмісті у зерні кукурудзи білків, вуглеводів, ліпідів, мінеральних сполук, збільшують розмір зернівок та посилюють стійкість рослин до стресових умов

упродовж вегетації [261].

Таким чином, комплексне вивчення взаємодії особливостей гібриду, густоти стояння рослин та позакоренових підживлень мікродобривами є надзвичайно актуальним для розробки ефективних технологій вирощування кукурудзи, які будуть забезпечувати не лише стабільні рівні врожайності, а і високу якість зерна відповідно до сучасних потреб виробництва.

Аналіз динаміки вмісту сирого протеїну в зерні кукурудзи за трирічний період свідчить про суттєвий вплив погодних умов року вирощування, біологічних особливостей гібридів (фактор А), густоти стояння рослин (фактор В) та фону мінерального живлення (фактор С) на формування показників якості врожаю (табл. 5.5) [52, 54]. Встановлено, що найбільша кількість сирого протеїну в зерні накопичувалася у 2023 р., а найнижча – у 2024 р.

Одержані нами результати досліджень у 2023 р., відповідно до яких вміст сирого протеїну в зерні кукурудзи був вищим на фоні водного дефіциту, на відміну від зволоженого 2022 р., узгоджуються з даними літературних джерел, які свідчать про посилений синтез білка в умовах посухи [246]. За результатами досліджень Huang et al. [182] встановлено, що водний дефіцит у критичних фазах росту й розвитку посилює синтез білкових сполук в зерні кукурудзи через зниження формування крохмалю, що обумовлено концентраційним ефектом. Correndo et al. [159] зазначають, що посуха після запилення сприяє суттєвому збільшенню білковості зерна кукурудзи, незважаючи на зниження вмісту крохмалю та рівня загальної врожайності. У дослідженнях Guo et al. [174] описано механізми, за яких посушливі умови активізують процеси синтезу білка в ендоспермі зерна кукурудзи на молекулярному рівні, що підтверджує підвищення співвідношення білок/крохмаль за дефіциту вологи.

У 2024 р. досліджень, коли вегетація проходила в умовах вираженого гідротермічного стресу, спостерігалось істотне зниження вмісту сирого протеїну в зерні майже всіх гібридів – у середньому на 0,5–0,8% порівняно з попереднім роком, що узгоджується з результатами досліджень Saini &

Westgate [247], які зазначали, що надмірна посуха у фазі наливу зерна обмежує транспортування асимілятів і порушує азотний метаболізм, внаслідок чого формується більш дрібне і менш білкове зерно.

Таблиця 5.5

**Вміст сирого протеїну в зерні гібридів кукурудзи різних груп ФАО
залежно від досліджуваних факторів (середнє за 2022–2024 рр.), %**

Гібрид (фактор А)	Густота стояння рослин, тис./га (фактор В)							
	55	60	65	70	75	80	90	110
Обробка водою – контроль (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	6,93	7,05	7,25	7,42	7,50	7,65	7,55	7,15
ДКС 4109 (ФАО 320)	6,81	7,00	7,20	7,35	7,47	7,56	7,45	7,10
ДКС 4391 (ФАО 350)	7,05	7,97	7,80	7,64	7,75	8,02	7,90	7,45
ДКС 4598 (ФАО 360)	6,90	7,15	7,45	7,60	7,65	7,73	7,60	7,25
ДКС 4712 (ФАО 370)	6,75	6,95	7,30	7,50	7,63	7,75	7,65	7,35
ДКС 5075 (ФАО 410)	6,56	6,86	7,15	7,40	7,55	7,70	7,65	7,40
ДКС 5206 (ФАО 420)	6,70	6,95	7,15	7,46	7,60	7,65	7,55	7,30
Аміно Ультра Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	7,20	7,30	7,50	7,67	7,75	7,90	7,80	7,40
ДКС 4109 (ФАО 320)	7,05	7,25	7,45	7,60	7,72	7,80	7,70	7,35
ДКС 4391 (ФАО 350)	7,30	8,25	8,04	7,89	8,00	8,26	8,15	7,70
ДКС 4598 (ФАО 360)	7,15	7,40	7,70	7,85	7,90	8,00	7,90	7,50
ДКС 4712 (ФАО 370)	7,00	7,20	7,55	7,75	7,88	8,00	7,90	7,60
ДКС 5075 (ФАО 410)	6,86	7,15	7,45	7,65	7,80	7,95	7,90	7,65
ДКС 5206 (ФАО 420)	6,95	7,20	7,40	7,71	7,85	7,90	7,80	7,55
Мікро-Мінераліс Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	7,05	7,18	7,35	7,53	7,60	7,75	7,65	7,25
ДКС 4109 (ФАО 320)	6,90	7,10	7,30	7,45	7,57	7,64	7,54	7,20
ДКС 4391 (ФАО 350)	7,15	8,09	7,90	7,76	7,85	8,15	8,00	7,55
ДКС 4598 (ФАО 360)	7,00	7,25	7,56	7,70	7,76	7,82	7,70	7,37
ДКС 4712 (ФАО 370)	6,85	7,06	7,40	7,60	7,69	7,85	7,77	7,42
ДКС 5075 (ФАО 410)	6,71	7,00	7,33	7,56	7,64	7,80	7,77	7,48
ДКС 5206 (ФАО 420)	6,80	7,06	7,27	7,56	7,70	7,75	7,65	7,43
НІР ₀₅ , %								
2022 р.: А – 0,17; В – 0,14; С – 0,11; АВ – 0,23; АС – 0,19; ВС – 0,17; АВС – 0,25								
2023 р.: А – 0,21; В – 0,18; С – 0,14; АВ – 0,29; АС – 0,24; ВС – 0,21; АВС – 0,31								
2024 р.: А – 0,14; В – 0,11; С – 0,09; АВ – 0,19; АС – 0,15; ВС – 0,14; АВС – 0,21								

Інтенсивна посуха здатна суттєво знизити зернову продуктивність кукурудзи, негативно впливаючи на ріст і розвиток рослин, фізіологічні

процеси, які в них відбуваються, та формування репродуктивних органів [270, 279]. Найбільші втрати врожаю (до 90%) відбуваються у разі дефіциту вологи в критичні фази росту й розвитку, зокрема незадовго до цвітіння та під час наливу зерна [201, 254].

Щоб вирішити проблему посухи, яка суттєво позначається на зерновій продуктивності кукурудзи, пріоритетним завданням сучасного аграрного виробництва є впровадження у виробництво гібридів, які мають підвищену стійкість до абіотичних стресів, зокрема водного дефіциту. Саме такі адаптивні гібриди здатні забезпечити стабільне формування врожаю в умовах нестабільних умов вологозабезпечення [139, 248, 282].

Для підвищення стійкості гібридів до посухи аграрна наука активно впроваджує інтегровані стратегії селекції і феномічного аналізу. Зокрема, огляд сучасних підходів у селекції показав, що використання геномних технологій, високопродуктивного фенотипування і транскриптомного аналізу суттєво пришвидшує створення гібридів з підвищеною посухостійкістю [214]. Це підтверджується результатами досліджень Rasheed et al. [241], якими доведено, що нові гібриди, адаптовані до нестійких умов зволоження, забезпечують стабільно вищі рівні врожайності та економію води порівняно зі звичайними гібридами. Доцільність такого підходу обґрунтовує й наше дослідження, спрямоване на оцінку якості зерна гібридів кукурудзи різних груп ФАО за умов різного рівня зволоження, що є актуальним у контексті зміни клімату та необхідності адаптації технологій вирощування до нових агрокліматичних умов.

Аналіз середніх значень вмісту сирого протеїну в зерні кукурудзи за період 2022–2024 рр. свідчить про помітну диференціацію гібридів за цим показником (рис. 5.14). В усі роки досліджень найвищий вміст сирого протеїну в зерні формував гібрид ДКС 4391 (ФАО 350) – у середньому 7,82%, що вказує на його підвищену потенційну здатність до синтезу білкових сполук, зокрема в посушливих умовах 2023 р. (8,11%) та гідротермічного стресу 2024 р. (7,48%).

Другу групу за рівнем білковості зерна склали гібриди ДКС 4598 (ФАО

360) (7,54%) та ДКС 4712 (ФАО 370) (7,48%), які також показали стабільно високі результати за різних умов зволоження року вирощування. Гібриди ДКС 4098 (ФАО 310), ДКС 5075 (ФАО 410) та ДКС 5206 (ФАО 420) сформували вміст сирого протеїну в зерні на рівні 7,42–7,43%, що є типовим значенням для середньостиглих та пізньостиглих форм кукурудзи.

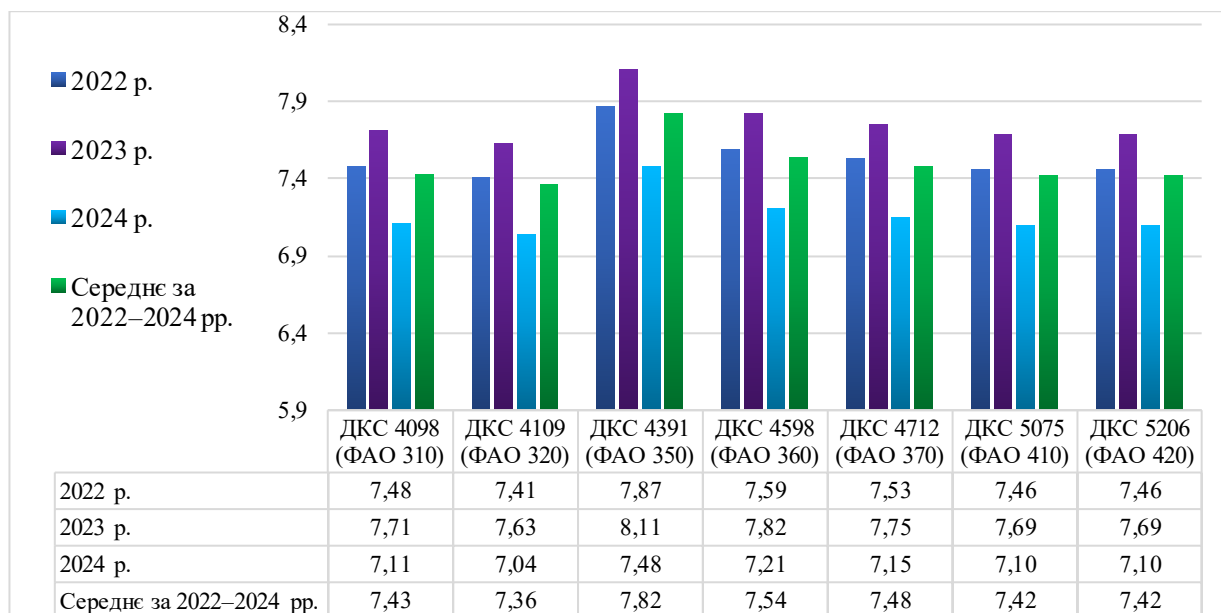


Рис. 5.14. Вміст сирого протеїну в зерні гібридів кукурудзи різних груп ФАО у середньому за факторами В і С, %

Другу групу за рівнем білковості зерна склали гібриди ДКС 4598 (ФАО 360) (7,54%) та ДКС 4712 (ФАО 370) (7,48%), які також показали стабільно високі результати за різних умов зволоження року вирощування. Гібриди ДКС 4098 (ФАО 310), ДКС 5075 (ФАО 410) та ДКС 5206 (ФАО 420) сформували вміст сирого протеїну в зерні на рівні 7,42–7,43%, що є типовим значенням для середньостиглих та пізньостиглих форм кукурудзи.

Найнижчі середні показники за три роки досліджень виявлено у гібрида ДКС 4109 (ФАО 320) – 7,36%, що свідчить про його дещо нижчу потенційну здатність до формування білкового компоненту врожаю порівняно з іншими гібридами. У цілому, простежується чітка залежність вмісту сирого протеїну від біологічних особливостей гібридів та погодних умов року вирощування, з переважним підвищенням білковості зерна у 2023 р. – році з помірним дефіцитом вологи, та зниженням у 2024 р., коли спостерігався стрес від

надмірної посухи.

Аналіз даних щодо вмісту сирого протеїну в зерні гібридів кукурудзи різних груп ФАО залежно від густоти стояння рослин обґрунтовує суттєвий вплив як генетичних особливостей гібридів (фактор А), так і щільності посіву (фактор В) на формування білкового потенціалу зерна (табл. 5.6).

Таблиця 5.6

**Вміст сирого протеїну в зерні гібридів кукурудзи різних груп ФАО
залежно від густоти стояння рослин у середньому за фактором С
(середнє за 2022–2024 рр.), %**

Гібрид (фактор А)	Густота стояння рослин, тис./га (фактор В)							
	55	60	65	70	75	80	90	110
ДКС 4098 (ФАО 310)	7,06	7,18	7,37	7,54	7,62	7,77	7,67	7,27
ДКС 4109 (ФАО 320)	6,92	7,12	7,32	7,47	7,59	7,67	7,56	7,22
ДКС 4391 (ФАО 350)	7,17	8,10	7,91	7,76	7,87	8,14	8,02	7,57
ДКС 4598 (ФАО 360)	7,02	7,27	7,57	7,72	7,77	7,85	7,73	7,37
ДКС 4712 (ФАО 370)	6,87	7,07	7,42	7,62	7,73	7,87	7,77	7,46
ДКС 5075 (ФАО 410)	6,71	7,00	7,31	7,54	7,66	7,82	7,77	7,51
ДКС 5206 (ФАО 420)	6,82	7,07	7,27	7,58	7,72	7,77	7,67	7,43

У межах досліджуваного діапазону густоти стояння рослин (від 55 до 110 тис./га) у більшості гібридів вміст сирого протеїну в зерні мав чітко виражену тенденцію до підвищення при зростанні густоти до 80 тис./га, після чого відбувалося зниження показника. Зокрема, найвищі його значення було встановлено за густоти 80 тис./га у гібридів ДКС 4391 (ФАО 350) – 8,14%, ДКС 4598 (ФАО 360) – 7,85%, ДКС 4712 (ФАО 370) – 7,87% та ДКС 5075 (ФАО 410) – 7,82%. Одержані дані дозволяють зробити висновок, що саме ця густота забезпечує оптимальне поєднання умов для асиміляції, азотного живлення та фотосинтетичної активності рослин.

Зменшення густоти до 55–60 тис./га призводило до зниження білковості зерна всіх гібридів. Зокрема, найнижчий вміст сирого протеїну було визначено у гібрида ДКС 4109 (ФАО 320) – 6,92% за густоти стояння рослин 55 тис./га та 7,12% за густоти 60 тис./га. Подібну ситуацію спостерігали і за надмірного

загущення посівів (110 тис./га), що обумовлено посиленням внутрішньовидової конкуренції рослин за вологу, світло та елементи живлення та негативно вплинуло на ефективність формування білкового компоненту врожаю.

За результатами досліджень встановлено позитивний вплив позакоренових підживлень мікродобривами на вміст сирого протеїну в зерні кукурудзи (рис. 5.15). Найнижчі його значення спостерігали у контрольному варіанті дослід з обробкою посівів водою – 7,37% у середньому за 2022–2024 рр., що обґрунтовує нестачу доступних елементів живлення у критичні фази органогенезу кукурудзи без проведення підживлень.

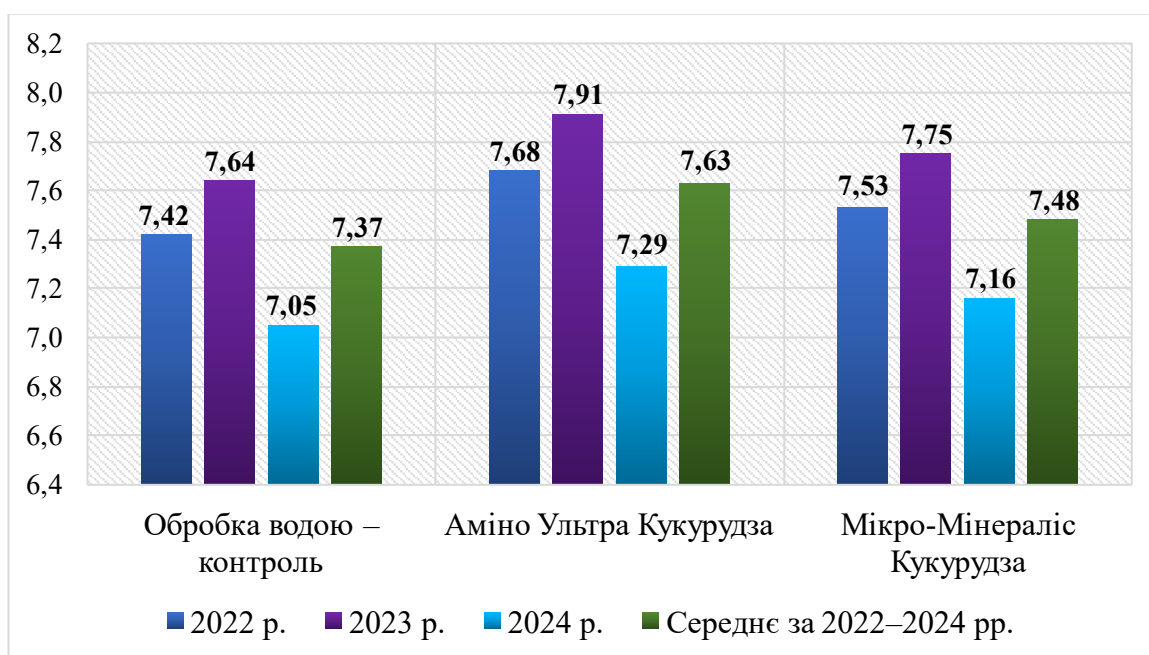


Рис. 5.15. Вплив позакоренових підживлень мікродобривами на вміст сирого протеїну в зерні кукурудзи у середньому за факторами А і В, %

Підживлення посівів мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза сприяло збільшенню вмісту сирого протеїну до 7,63%, тобто на 0,26% порівняно з контролем. Найвищі показники за даним варіантом дослід одержали у 2023 р. (7,91%), що збігається з умовами помірної посухи, коли рослини більш активно реагують на додаткове мінеральне забезпечення, зокрема на амінокислотні форми живлення.

Підживлення посівів мікродобривом Мікро-Мінераліс Кукурудза також забезпечило зростання вмісту сирого протеїну, але дещо меншою мірою –

7,48% у середньому за три роки досліджень. Найкращий ефект даного мікродобрива також спостерігали у 2023 р. (7,75%), тоді як у 2024 р. ефективність усіх підживлень знизилась, що, ймовірно, пов'язано з порушенням фізіологічних процесів унаслідок гідротермічного стресу.

Загалом, результати досліджень свідчать, що обидва мікродобрива позитивно впливають на білковість зерна, а Аміно Ультра Кукурудза забезпечує більш виражений ефект, що пов'язано з підвищеним вмістом легкодоступного азоту у формі амінокислот, який активно використовується рослинами під час формування білкових сполук. Отримані дані обґрунтовують доцільність проведення позакоренових підживлень у технологіях вирощування кукурудзи, особливо в умовах нестійкого вологозабезпечення.

Результати дисперсійного аналізу (розрахунок HP_{05}) підтверджують статистичну значущість впливу всіх досліджуваних факторів – як основних (А, В, С), так і їх взаємодій (АВ, АС, ВС, АВС), що вказує на складну багатофакторну природу процесів білкоутворення в зерні кукурудзи. Це дозволяє зробити висновок про необхідність комплексного підходу щодо добору гібридів, оптимізації густоти посіву та фону живлення в адаптивних технологіях вирощування кукурудзи.

За даними урожайності зерна та вмісту в ньому сирого протеїну нами розраховано умовний вихід сирого протеїну з гектару посівів кукурудзи (табл. 5.7).

У середньому за досліджуваними факторами найбільший умовний вихід сирого протеїну забезпечив гібрид ДКС 4391 (ФАО 350) – 0,66 т/га (рис. 5.16), що обґрунтовує його високу потенційну продуктивність за білковим компонентом. У решти гібридів даний показник коливався в межах 0,61–0,63 т/га. Зокрема, гібриди ДКС 4098 (ФАО 310), ДКС 4109 (ФАО 320), ДКС 5075 (ФАО 410) і ДКС 5206 (ФАО 420) забезпечили умовний вихід сирого протеїну на однаковому рівні – 0,62 т/га.

За результатами проведених розрахунків встановлено чітку залежність умовного виходу сирого протеїну з 1 га посівів кукурудзи від густоти стояння

рослин. Мінімальні значення показника забезпечили зріджені (55 тис./га) та загущені (110 тис./га) посіви – 0,58 і 0,57 т/га відповідно (рис. 5.17), що свідчить про наявність як ресурсних, так і алелопатичних обмежень у даних варіантах досліджу.

Таблиця 5.7

**Умовний вихід сирого протеїну з гектару посівів гібридів кукурудзи
різних груп ФАО залежно від досліджуваних факторів
(середнє за 2022–2024 рр.), т/га**

Гібрид (фактор А)	Густота стояння рослин, тис./га (фактор В)							
	55	60	65	70	75	80	90	110
Обробка водою – контроль (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	0,54	0,54	0,55	0,59	0,59	0,60	0,57	0,53
ДКС 4109 (ФАО 320)	0,50	0,55	0,57	0,59	0,59	0,58	0,57	0,53
ДКС 4391 (ФАО 350)	0,55	0,63	0,63	0,61	0,61	0,61	0,58	0,53
ДКС 4598 (ФАО 360)	0,54	0,54	0,57	0,56	0,57	0,58	0,53	0,48
ДКС 4712 (ФАО 370)	0,53	0,56	0,59	0,59	0,61	0,59	0,56	0,51
ДКС 5075 (ФАО 410)	0,50	0,52	0,56	0,57	0,59	0,60	0,58	0,55
ДКС 5206 (ФАО 420)	0,53	0,56	0,57	0,58	0,58	0,57	0,57	0,52
Аміно Ультра Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	0,64	0,65	0,65	0,70	0,70	0,70	0,68	0,63
ДКС 4109 (ФАО 320)	0,60	0,66	0,67	0,70	0,70	0,68	0,68	0,60
ДКС 4391 (ФАО 350)	0,66	0,75	0,74	0,72	0,72	0,72	0,69	0,62
ДКС 4598 (ФАО 360)	0,64	0,65	0,67	0,66	0,68	0,69	0,64	0,58
ДКС 4712 (ФАО 370)	0,63	0,66	0,70	0,70	0,73	0,70	0,68	0,60
ДКС 5075 (ФАО 410)	0,60	0,63	0,67	0,68	0,70	0,71	0,69	0,64
ДКС 5206 (ФАО 420)	0,63	0,66	0,68	0,68	0,69	0,68	0,68	0,63
Мікро-Мінераліс Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	0,61	0,62	0,62	0,67	0,67	0,67	0,64	0,59
ДКС 4109 (ФАО 320)	0,57	0,63	0,64	0,67	0,67	0,64	0,64	0,57
ДКС 4391 (ФАО 350)	0,63	0,72	0,70	0,69	0,69	0,69	0,65	0,59
ДКС 4598 (ФАО 360)	0,61	0,61	0,64	0,63	0,65	0,65	0,60	0,55
ДКС 4712 (ФАО 370)	0,60	0,63	0,66	0,66	0,69	0,67	0,64	0,57
ДКС 5075 (ФАО 410)	0,57	0,60	0,64	0,66	0,66	0,67	0,65	0,60
ДКС 5206 (ФАО 420)	0,60	0,63	0,65	0,65	0,66	0,64	0,64	0,60

Максимальний умовний вихід білка (0,65 т/га) сформовано в діапазоні густот 70–80 тис./га, що дозволяє розглядати даний інтервал як оптимальний

для забезпечення високої білкової продуктивності кукурудзи. Такі результати пояснюються оптимальним співвідношенням площі живлення, фотосинтетичної активності та ефективного використання елементів мінерального живлення, насамперед азоту.

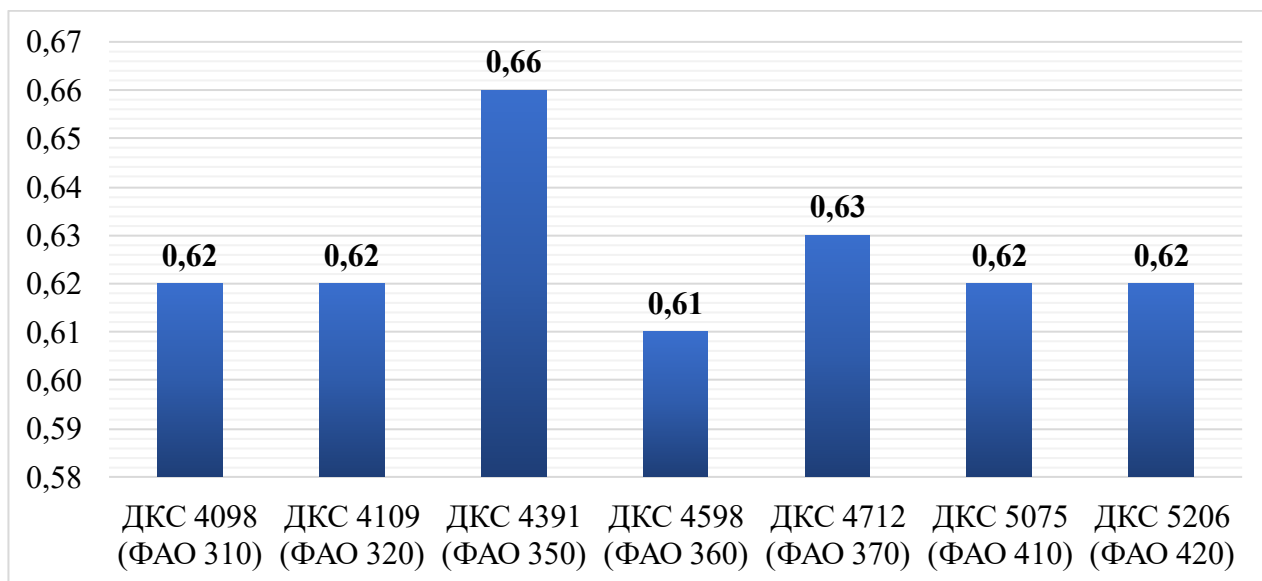


Рис. 5.16. Умовний вихід сирого протеїну з гектару посівів гібридів кукурудзи різних груп ФАО у середньому за факторами В і С (середнє за 2022–2024 рр.), т/га

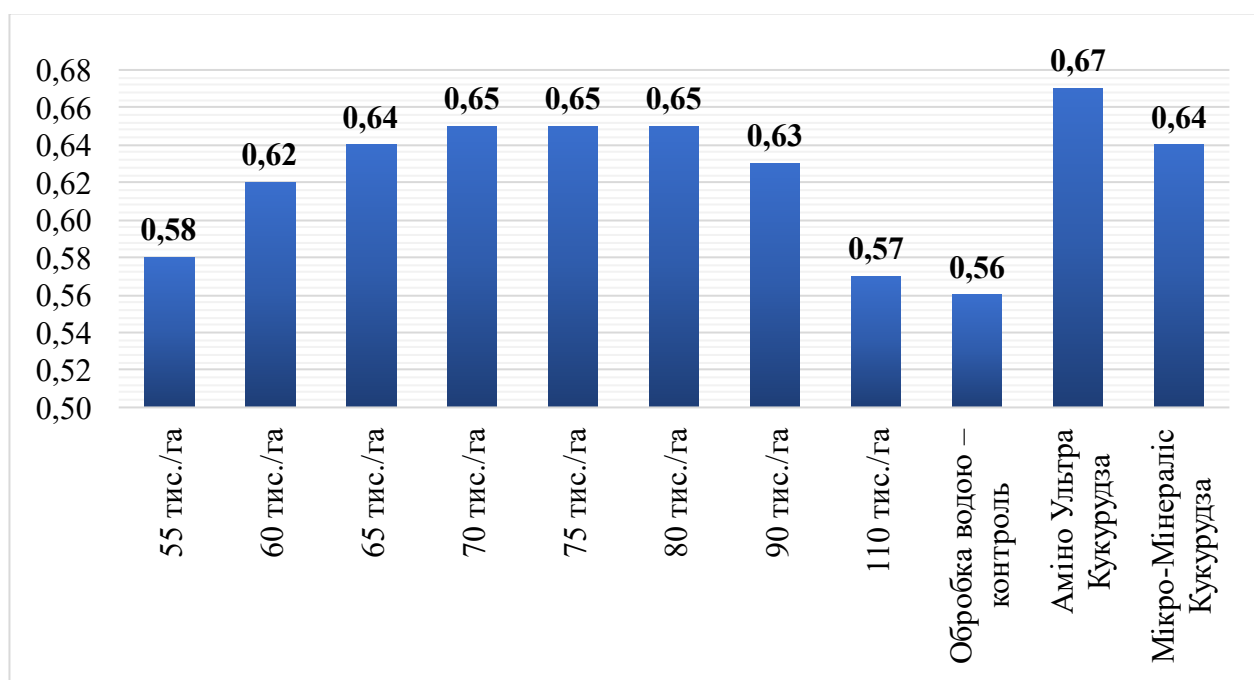


Рис. 5.17. Умовний вихід сирого протеїну з гектару посівів гібридів кукурудзи у середньому за досліджуваними факторами (середнє за 2022–2024 рр.), т/га

Надмірне загущення посівів до 90 тис./га зумовлює помірне зниження умовного виходу білка (до 0,63 т/га), що пов'язано з посиленою конкуренцією рослин за світло, вологу та поживні речовини. Зниження густоти нижче 65 тис./га призводить до нераціонального використання ґрунтових ресурсів, що також обмежує формування білкової продуктивності.

Найбільш суттєвий вплив на умовний вихід сирого протеїну з гектару посівів кукурудзи серед досліджуваних факторів забезпечили позакореневі підживлення посівів мікродобривами. Найменшим даний показник відмічено у контрольному варіанті досліду з обробкою посівів водою – 0,56 т/га, що вказує на обмежену реалізацію потенціалу білкоутворення за умов дефіциту елементів живлення у критичні фази розвитку. Найвищий показник забезпечило використання мікродобрива Аміно Ультра Кукурудза – 0,67 т/га, що перевищило контроль на 0,11 т/га або майже 20%. Це свідчить про високу ефективність амінокислотно-хелатного комплексу в активізації обміну азоту, підвищенні ефективності фотосинтезу та стимуляції білкового синтезу в зерні. Мікродобриво Мікро-Мінераліс Кукурудза дещо поступалося в даному випадку – умовний вихід сирого протеїну становив 0,64 т/га і перевищив контроль на 0,08 т/га.

Абсолютний максимум умовного виходу сирого протеїну з гектару посівів кукурудзи у досліді забезпечив гібрид ДКС 4391 (ФАО 350) за густоти стояння рослин 60 тис./га та дворазового підживлення мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза – 0,75 т/га.

За результатами досліджень у середньому за факторами густоти стояння рослин (В) і позакорневих підживлень мікродобривами (С) визначено варіативність вмісту олії в зерні кукурудзи залежно від гібриду (фактор А) та погодних умов років досліджень [184]. У середньому за 2022–2024 рр. вміст олії в зерні коливався в межах від 3,80% за вирощування гібриду ДКС 4598 (ФАО 360) до 4,00% за вирощування гібриду ДКС 4391 (ФАО 350) (табл. 5.8).

Спостерігали чітку тенденцію до зниження вмісту жиру в зерні всіх досліджуваних гібридів у 2023 р. порівняно з 2022 р., а потім значне зростання

вмісту жиру в 2024 р., що свідчить про суттєвий вплив агрокліматичних умов року вирощування на метаболізм кукурудзи, зокрема на синтез ліпідів у зерні. У 2024 р. випала незначна кількість опадів, що негативно позначилося на формуванні білковості зерна, проте олії накопичувалася максимальна кількість, що відображає тенденцію до зворотного співвідношення цих двох компонентів у зерні кукурудзи за стресових умов водного дефіциту. Негативну кореляцію між вмістом білка та олії підтверджують і результати досліджень інших науковців [243].

Таблиця 5.8

**Вміст жиру в зерні гібридів кукурудзи різних груп ФАО
у середньому за факторами В і С, %**

Гібрид (фактор А)	Рік досліджень			Середнє за 2022–2024 рр.
	2022	2023	2024	
ДКС 4098 (ФАО 310)	3,85	3,72	4,14	3,90
ДКС 4109 (ФАО 320)	3,88	3,74	4,17	3,93
ДКС 4391 (ФАО 350)	3,95	3,81	4,24	4,00
ДКС 4598 (ФАО 360)	3,76	3,61	4,04	3,80
ДКС 4712 (ФАО 370)	3,90	3,76	4,19	3,95
ДКС 5075 (ФАО 410)	3,83	3,70	4,11	3,88
ДКС 5206 (ФАО 420)	3,92	3,78	4,22	3,97

Незважаючи на загальну річну динаміку, відносно ранжування гібридів за вмістом жиру є відносно стабільним. Максимальну олійність зерна у досліді забезпечили гібриди ДКС 4712 (ФАО 370), ДКС 5206 (ФАО 420) та ДКС 4391 (ФАО 350) – 3,95–4,00% у середньому за три роки досліджень.

Вміст олії в зерні кукурудзи залежав від густоти стояння рослин, підтверджуючи закономірність до зниження зі збільшенням густоти з 55 до 80 тис./га. Так, у середньому за 2022–2024 рр. вміст жиру зменшився з 4,00% за густоти 55 тис./га до 3,78% за густоти 80 тис./га (табл. 5.9).

Загущення посівів понад 80 тис./га збільшувало олійність зерна, яка за максимальної густоти стояння рослин (110 тис./га) становила 3,94% у середньому за три роки досліджень, що пояснюється активізацією компенсаторних механізмів, які впливають на хімічний склад зерна.

**Вплив густоти стояння рослин на вміст жиру в зерні кукурудзи
у середньому за факторами А і С, %**

Густота стояння рослин, тис./га (фактор В)	Рік досліджень			Середнє за 2022–2024 рр.
	2022	2023	2024	
55	3,95	3,81	4,23	4,00
60	3,94	3,80	4,22	3,99
65	3,93	3,79	4,21	3,98
70	3,91	3,77	4,20	3,96
75	3,78	3,64	4,07	3,83
80	3,73	3,60	4,02	3,78
90	3,83	3,70	4,13	3,89
110	3,89	3,74	4,18	3,94

Загущення посівів понад 80 тис./га збільшувало олійність зерна, яка за максимальної густоти стояння рослин (110 тис./га) становила 3,94% у середньому за три роки досліджень, що пояснюється активізацією компенсаторних механізмів, які впливають на хімічний склад зерна.

Закономірність щодо накопичення олії в зерні кукурудзи залежно від густоти стояння рослин зберігалася в усі роки досліджень, проте абсолютні значення даного показника якості варіювали. Максимальний вміст жиру в зерні для всіх густот посіву визначено у 2024 р. (4,02–4,23%), мінімальний – у 2023 р. (3,60–3,81%), що обґрунтовує значний вплив агрокліматичних умов року вирощування на реалізацію генетичного потенціалу гібридів щодо накопичення олії в зерні.

Проведення позакореневих підживлень посівів кукурудзи мікродобривами Аміно Ультра Кукурудза та Мікро-Мінераліс Кукурудза в усі роки досліджень дещо знижувало вміст олії в зерні порівняно з контрольним варіантом. У середньому за 2022–2024 рр. дворазова обробка посівів мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза забезпечила найнижчий показник олійності зерна – 3,87%, що на 0,09% менше, ніж у контролі (рис. 5.18). Позакореневі підживлення мікродобривом Мікро-Мінераліс Кукурудза також

призводили до незначного зниження олійності до 3,93%, що менше контрольних значень на 0,03%.

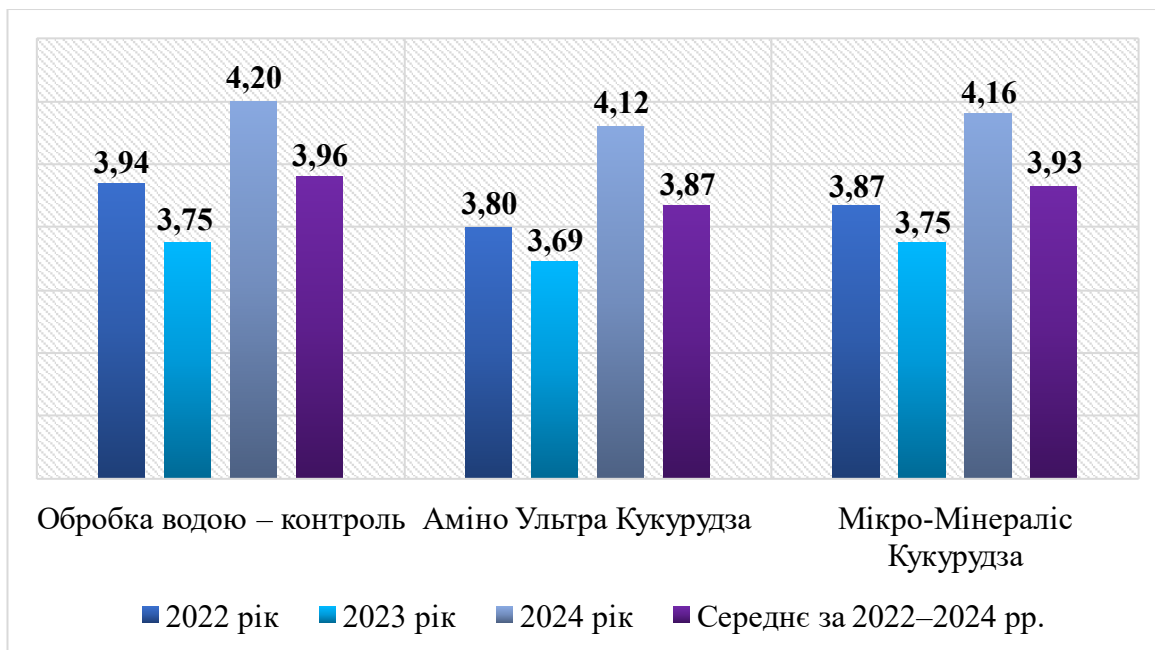


Рис. 5.18. Вплив позакоренових підживлень мікродобривами на вміст жиру в зерні кукурудзи у середньому за факторами А і В, %

Мікродобриво Мікро-Мінераліс Кукурудза виявилося більш ефективним у впливі на вміст олії в зерні кукурудзи порівняно з мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза, що простежували в усі роки досліджень. Так, наприклад, у 2022 р. олійність зерна у варіантах з проведенням позакоренових підживлень мікродобривом Мікро-Мінераліс Кукурудза становила 3,87%, а у варіантах застосування мікродобрива Аміно Ультра Кукурудза – 3,80%.

Вміст олії в зерні кукурудзи є результатом комплексної взаємодії особливостей гібриду (фактор А), густоти стояння рослин (фактор В) та позакоренових підживлень мікродобривами (фактор С). Найвищий вміст олії в зерні кукурудзи у середньому за три роки досліджень забезпечило вирощування гібридів ДКС 4712 (ФАО 370), ДКС 5206 (ФАО 420) та ДКС 4391 (ФАО 350) за густоти стояння рослин 55–70 тис./га без проведення позакоренових підживлень мікродобривами (табл. 5.10). Зазначений комплекс елементів технології вирощування забезпечує найбільш сприятливі умови для синтезу та накопичення олії в зерні кукурудзи.

Вміст жиру в зерні гібридів кукурудзи різних груп ФАО
залежно від досліджуваних факторів (середнє за 2022–2024 рр.), %

Гібрид (фактор А)	Густота стояння рослин, тис./га (фактор В)							
	55	60	65	70	75	80	90	110
Обробка водою – контроль (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	4,03	4,00	3,99	4,00	3,88	3,82	3,90	3,95
ДКС 4109 (ФАО 320)	4,04	4,06	4,02	4,02	3,88	3,83	3,92	3,97
ДКС 4391 (ФАО 350)	4,12	4,09	4,08	4,08	3,95	3,91	4,00	4,06
ДКС 4598 (ФАО 360)	3,91	3,91	3,89	3,90	3,75	3,74	3,80	3,86
ДКС 4712 (ФАО 370)	4,06	4,08	4,06	4,01	3,89	3,85	3,95	4,03
ДКС 5075 (ФАО 410)	3,99	3,98	3,98	3,95	3,83	3,80	3,89	3,96
ДКС 5206 (ФАО 420)	4,09	4,07	4,08	4,07	3,94	3,88	4,00	4,04
Аміно Ультра Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	3,95	3,89	3,91	3,87	3,77	3,70	3,82	3,87
ДКС 4109 (ФАО 320)	3,97	3,94	3,94	3,92	3,81	3,71	3,85	3,90
ДКС 4391 (ФАО 350)	4,03	4,02	4,02	3,98	3,85	3,80	3,92	3,95
ДКС 4598 (ФАО 360)	3,81	3,81	3,82	3,77	3,69	3,67	3,72	3,77
ДКС 4712 (ФАО 370)	3,97	3,97	3,97	3,92	3,81	3,77	3,88	3,91
ДКС 5075 (ФАО 410)	3,89	3,90	3,90	3,87	3,72	3,71	3,80	3,85
ДКС 5206 (ФАО 420)	4,00	3,98	3,96	3,96	3,83	3,77	3,86	3,93
Мікро-Мінераліс Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	3,99	3,98	3,97	3,96	3,81	3,77	3,88	3,92
ДКС 4109 (ФАО 320)	4,01	4,01	3,99	3,99	3,85	3,79	3,90	3,94
ДКС 4391 (ФАО 350)	4,11	4,10	4,08	4,04	3,92	3,85	3,99	4,02
ДКС 4598 (ФАО 360)	3,88	3,87	3,86	3,86	3,69	3,69	3,80	3,83
ДКС 4712 (ФАО 370)	4,05	4,02	4,03	3,99	3,88	3,80	3,93	3,98
ДКС 5075 (ФАО 410)	3,96	3,93	3,93	3,94	3,80	3,77	3,83	3,89
ДКС 5206 (ФАО 420)	4,09	4,06	4,03	4,03	3,90	3,84	3,95	4,01
НІР ₀₅ , %								
2022 рік: А – 0,07; В – 0,04; С – 0,08; АВ – 0,12; АС – 0,11; ВС – 0,13; АВС – 0,28.								
2023 рік: А – 0,05; В – 0,03; С – 0,06; АВ – 0,09; АС – 0,08; ВС – 0,09; АВС – 0,19.								
2024 рік: А – 0,07; В – 0,05; С – 0,09; АВ – 0,13; АС – 0,14; ВС – 0,15; АВС – 0,32.								

За результатами проведених розрахунків визначено, що всі досліджувані фактори позначилися на умовному виході олії з гектару посівів кукурудзи. Даний показник у середньому за три роки досліджень варіював у межах 0,26–0,37 т/га (табл. 5.11). Найвищими його значення забезпечило вирощування гібридів ДКС 4391 (ФАО 350), ДКС 4712 (ФАО 370) та ДКС 5206 (ФАО 420) за

густоти стояння рослин в діапазоні 55–70 тис./га з проведенням позакореневих підживлень мікродобрином Аміно Ультра Кукурудза.

Таблиця 5.11

**Умовний вихід олії з гектару посівів гібридів кукурудзи
різних груп ФАО залежно від досліджуваних факторів
(середнє за 2022–2024 рр.), т/га**

Гібрид (фактор А)	Густота стояння рослин, тис./га (фактор В)							
	55	60	65	70	75	80	90	110
Обробка водою – контроль (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	0,31	0,31	0,30	0,32	0,31	0,30	0,29	0,29
ДКС 4109 (ФАО 320)	0,30	0,32	0,32	0,32	0,31	0,29	0,30	0,30
ДКС 4391 (ФАО 350)	0,32	0,32	0,33	0,33	0,31	0,30	0,29	0,29
ДКС 4598 (ФАО 360)	0,30	0,30	0,30	0,29	0,28	0,28	0,27	0,26
ДКС 4712 (ФАО 370)	0,32	0,33	0,33	0,31	0,31	0,29	0,29	0,28
ДКС 5075 (ФАО 410)	0,31	0,30	0,31	0,31	0,30	0,30	0,29	0,29
ДКС 5206 (ФАО 420)	0,32	0,33	0,33	0,31	0,30	0,29	0,30	0,29
Аміно Ультра Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	0,36	0,35	0,34	0,36	0,35	0,33	0,33	0,34
ДКС 4109 (ФАО 320)	0,34	0,36	0,36	0,36	0,35	0,33	0,33	0,33
ДКС 4391 (ФАО 350)	0,37	0,37	0,37	0,37	0,35	0,33	0,33	0,34
ДКС 4598 (ФАО 360)	0,34	0,34	0,34	0,32	0,32	0,31	0,29	0,33
ДКС 4712 (ФАО 370)	0,36	0,37	0,37	0,36	0,36	0,33	0,33	0,34
ДКС 5075 (ФАО 410)	0,35	0,35	0,36	0,35	0,34	0,33	0,33	0,34
ДКС 5206 (ФАО 420)	0,37	0,37	0,37	0,36	0,34	0,33	0,33	0,35
Мікро-Мінераліс Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	0,35	0,34	0,34	0,36	0,34	0,32	0,33	0,33
ДКС 4109 (ФАО 320)	0,34	0,36	0,36	0,36	0,34	0,33	0,33	0,33
ДКС 4391 (ФАО 350)	0,37	0,37	0,37	0,36	0,35	0,32	0,33	0,34
ДКС 4598 (ФАО 360)	0,34	0,33	0,33	0,32	0,31	0,30	0,29	0,33
ДКС 4712 (ФАО 370)	0,36	0,36	0,37	0,35	0,35	0,32	0,32	0,34
ДКС 5075 (ФАО 410)	0,34	0,34	0,35	0,35	0,33	0,32	0,32	0,33
ДКС 5206 (ФАО 420)	0,37	0,37	0,37	0,35	0,34	0,32	0,32	0,35

Найвагомішим фактором зростання умовного виходу олії з гектару посівів кукурудзи є проведення позакореневих підживлень мікродобривами. Порівняно з контролем (обробка водою), де максимальний вихід олії у найпродуктивніших гібридів досягав 0,33 т/га, використання в технології

виросування мікрдобрих забезпечило зростання даного показника до 0,36–0,37 т/га. Тобто, незважаючи на зниження вмісту олії в зерні кукурудзи у варіантах проведення дворазової обробки посівів мікрдобривами, за рахунок більш високого рівня сформованої врожайності умовний вихід олії зростає. Це пояснюється тим, що мікрдобрива сприяють активізації загальних метаболічних процесів у рослині, що призводить до збільшення її загальної біомаси та кількості зерна, і, відповідно, компенсує незначне зниження відсоткового вмісту олії, забезпечуючи значний приріст досліджуваного продукту з одиниці площі.

Висновки до розділу 5

1. Збиральна вологість зерна кукурудзи формується за комплексного впливу генетичних особливостей гібридів, густоти стояння рослин та позакоренових підживлень мікрдобривами. Зі збільшенням показника ФАО і за проведення позакоренових підживлень мікрдобривами вона зростає, а загущення посівів призводить до її зниження, що обумовлено як біологічними особливостями гібридів, так і фізіолого-біохімічними механізмами адаптації рослин до умов вирощування.

2. Встановлено зниження показника виходу зерна з качанів кукурудзи зі збільшенням густоти стояння рослин та його зростання за проведення позакоренових підживлень мікрдобривами. Максимальний вихід зерна забезпечили гібриди ДКС 4109 (ФАО 320) та ДКС 4712 (ФАО 370) за густоти стояння рослин 55 тис./га та проведення дворазової обробки посівів мікрдобривом Аміно Ультра Кукурудза – 82,6–83,2%.

3. Встановлено закономірність до збільшення маси 1000 зерен зі зростанням тривалості вегетаційного періоду гібридів кукурудзи. Загущення посівів призводило до зниження, а проведення позакоренових підживлень мікрдобривами – до збільшення даного показника. Визначено дуже сильну зворотну залежність ($R^2 = 0,9918$) між масою 1000 зерен та густотою стояння рослин. Максимальні значення маси 1000 зерен формували гібриди ДКС 5075

(ФАО 410) та ДКС 5206 (ФАО 420) за густоти стояння 55 тис./га та дворазової обробки посівів мікродобрином Аміно Ультра Кукурудза – 345,6–347,7 г.

4. В умовах Північного Степу України врожайність зерна кукурудзи значною мірою залежить від комплексного поєднання гібриду, оптимальної густоти посіву та позакоренових підживлень рослин мікродобривами. Найвищі рівні врожайності за результатами трирічних досліджень забезпечило проведення дворазового позакоренового підживлення посівів мікродобрином Аміно Ультра Кукурудза за вирощування гібридів ДКС 4712 (ФАО 370) і ДКС 5206 (ФАО 420) з густотою стояння рослин 60–65 тис./га – 9,21–9,24 т/га, ДКС 4109 (ФАО 320) з густотою 70 тис./га – 9,20 т/га та ДКС 4391 (ФАО 350) з густотою 65–70 тис./га – 9,18–9,19 т/га.

5. Вміст сирого протеїну в зерні мав чітко виражену тенденцію до підвищення при зростанні густоти до 80 тис./га, після чого відбувалося зниження показника. Позакоренові підживлення мікродобривами збільшили вміст сирого протеїну в зерні на 0,11–0,26% з більш вираженим ефектом за використання мікродобрива Аміно Ультра Кукурудза. В усі роки досліджень найвищий вміст сирого протеїну в зерні формував гібрид ДКС 4391 (ФАО 350) – у середньому 7,82%, що вказує на його підвищену потенційну здатність до синтезу білкових сполук, зокрема в посушливих умовах 2023 р. (8,11%) та гідротермічного стресу 2024 р. (7,48%).

6. Максимальний умовний вихід білка (0,65 т/га) сформовано в діапазоні густот 70–80 тис./га, що дозволяє розглядати даний інтервал як оптимальний для забезпечення високої білкової продуктивності кукурудзи. У середньому за досліджуваними факторами найбільший умовний вихід сирого протеїну забезпечив гібрид ДКС 4391 (ФАО 350) – 0,66 т/га. Найбільш суттєвий вплив на даний показник серед досліджуваних факторів мали позакоренові підживлення мікродобривами, які збільшили умовний вихід сирого протеїну з 0,56 т/га у контролі до 0,67 т/га за використання мікродобрива Аміно Ультра Кукурудза.

7. Вміст жиру в зерні кукурудзи у середньому за три роки досліджень коливався в межах 3,80–4,00%. Найбільшим його визначено за вирощування

гібридів ДКС 4712 (ФАО 370), ДКС 5206 (ФАО 420) та ДКС 4391 (ФАО 350). Стресові умови водного дефіциту негативно позначилися на вмісті білка в зерні, проте олійність формувалася максимальною, що доводить від'ємну кореляцію між вмістом білка та жиру.

8. Загущення посівів з 55 до 80 тис./га зменшувало вміст жиру в зерні з 4,00 до 3,78% з наступним зростанням за густоти стояння рослин 110 тис./га до 3,94%. Позакореневі підживлення мікродобривами дещо знижували відсотковий вміст жиру порівняно з контролем (3,96%), проте збільшували рівень урожайності, що позитивно позначилося на умовному виході олії з гектару посівів. Найвищий умовний вихід олії з гектару посівів (0,36–0,37 т/га) забезпечило вирощування гібридів ДКС 4712, ДКС 5206 та ДКС 4391 за густоти стояння рослин 55–70 тис./га із проведенням позакореневих підживлень мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза.

Публікації за розділом 5

За розділом 5 опубліковано 1 статтю у науковому фаховому виданні, включеному до міжнародних наукометричних баз даних (Scopus, Q2), 3 статті у наукових фахових виданнях України категорії В та 2 тези за матеріалами доповідей міжнародних науково-практичних конференцій:

1. Ivaniv M., Sydiakina O., **Hamula Ye.** Formation of maize grain oil content depending on technological elements and variable agro-climatic conditions. Journal of Ecological Engineering. 2026. Vol. 27(1). P. 129–137. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/209687> [184].

2. Іванів М. О., Сидякіна О. В., **Гамула Є. А.** Вплив густоти рослин та позакореневих підживлень мікродобривами на врожайність гібридів кукурудзи марки ДЕКАЛБ в умовах Північного Степу України. *Аграрні інновації*. 2025. № 31. С. 59–66. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2025.31.10> [48].

3. Іванів М. О., Сидякіна О. В., **Гамула Є. А.** Вплив умов зволоження, біологічних особливостей гібридів і густоти стояння рослин на вміст сирого

протеїну в зерні кукурудзи. *Український журнал природничих наук*. 2025. № 13. С. 273–281. DOI: <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.25> [52].

4. Іванів М. О., Сидякіна О. В., Гамула Є. А. Формування якості зерна гібридів кукурудзи марки DEKALB залежно від густоти стояння рослин та позакореневих підживлень мікродобривами. *Аграрні інновації*. 2025. № 32. С. 89–94. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2025.32.14> [54].

5. Іванів М. О., Сидякіна О. В., Гамула Є. А. Вплив густоти стояння рослин та позакореневих підживлень мікродобривами на вихід зерна з качанів гібридів кукурудзи різних груп ФАО. *Ротмістровські читання частина 2: технології вирощування сільськогосподарських культур та трансформація властивостей ґрунту в умовах змін клімату* : збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої до 130-річчя заснування Одеської державної сільськогосподарської дослідної станції, смт Хлібодарське, 25 вересня 2025 року. Одеса : Одеська ДСДС ІКОСГ НААН, 2025. С. 131–134. DOI: <https://www.doi.org/10.32782/25092025>. URL: <http://dspace.ksaeu.kherson.ua/handle/123456789/11417> [50].

6. Іванів М. О., Сидякіна О. В., Гамула Є. А. Вплив густоти стояння рослин та позакореневих підживлень мікродобривами на збиральну вологість зерна гібридів кукурудзи різних груп ФАО. *Адаптація агровиробництва до змін клімату та ґрунтової родючості* : збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції, 9 жовтня 2025 р., с-ще Полігон, Миколаївського району, Миколаївської області, Україна. Миколаївська державна сільськогосподарська дослідна станція Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН України, 2025. С. 120–123. DOI: <https://www.doi.org/10.32782/10-15-10-2025>. URL: <https://dspace.ksaeu.kherson.ua/handle/123456789/11395> [51].

РОЗДІЛ 6

ЕКОНОМІЧНА ТА ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ

В умовах зростання вартості матеріально-технічних ресурсів та енергетичної нестабільності особливого значення набуває оцінка економічної та енергетичної ефективності вирощування сільськогосподарських культур. Такий підхід дозволяє визначити доцільність застосування різних елементів технології, оптимізувати витрати, підвищити конкурентоспроможність виробництва та забезпечити раціональне використання енергетичних ресурсів. Крім того, комплексна оцінка економічних та енергетичних показників є важливим інструментом для розроблення ресурсозберігаючих технологій, які б відповідали сучасним вимогам сталого землеробства [14, 43–45, 61, 104].

Еколого-енергетичний аналіз сучасних агроєкосистем засвідчує, що рівень їх продуктивності значною мірою визначається обсягом залученої антропогенної енергії. Використання добрив, пестицидів, засобів механізації та інших елементів технології забезпечує формування високих рівнів урожайності, проте водночас супроводжується низкою негативних наслідків. Значні втрати органічної речовини через дегуміфікацію, ерозійні процеси та інтенсивне землекористування призводять до зменшення запасів вільної енергії в ґрунті, кількості рухомих форм біогенних елементів та зниження рівня біологічного різноманіття. Як результат, агроєкосистеми поступово втрачають стійкість, зростає ризик їх деградації, що проявляється у зниженні здатності до саморегуляції та погіршенні якості середовища. Така ситуація актуалізує потребу в екологізації землеробства та оптимізації енергетичного балансу агровиробництва на основі впровадження ресурсозберігаючих технологій, відновлення органічної речовини ґрунту, розширення біорізноманіття і гармонійного поєднання природних та антропогенних факторів у функціонуванні агроландшафтів [171, 216, 236, 273].

Застосування інтенсивних технологій у землеробстві, одночасно із

забезпеченням високих рівнів урожайності, супроводжується певним негативним впливом на довкілля. Це обумовлено необхідністю залучення значних обсягів антропогенної енергії, починаючи від її отримання на теплових і атомних електростанціях і завершуючи витратами на виробництво та застосування мінеральних добрив, біопрепаратів, мікроелементів, хімічних меліорантів, пестицидів тощо. Особливу актуальність з цього приводу набуває проблема додаткових енергетичних витрат, пов'язаних із відновленням родючості ґрунтів, що втрачається внаслідок дегуміфікації, ерозійних процесів та інших проявів деградації. Така енергія, спрямована на компенсацію втрат, не є продуктивною і відображає нераціональність використання природного потенціалу агроecosистем. Зменшення техногенного навантаження на ґрунтовий покрив і агроландшафти загалом дає змогу істотно скоротити ці витрати. Оптимізація технологій вирощування культур, впровадження ґрунтозахисних та ресурсозберігаючих заходів, а також запобігання погіршенню екологічного стану довкілля є основними умовами збереження енергії та підвищення стійкості агроecosистем [98, 141, 158].

6.1. Економічна ефективність вирощування кукурудзи

Економічна ефективність вирощування кукурудзи визначається комплексом чинників, серед яких провідне місце належить ґрунтово-кліматичним умовам, вартості посівного матеріалу і добрив, дотриманню всіх елементів технології вирощування, а також рівню врожайності. Важливими складовими є витрати на післязбиральну доробку зерна, його транспортування, зберігання, а також цінова кон'юнктура на внутрішньому та зовнішньому ринках. Значний вплив мають і попит на кінцеву продукцію, розвиток інфраструктури та державна підтримка аграрного сектору [14, 71].

Для отримання найбільш об'єктивних розрахунків економічної ефективності вирощування кукурудзи доцільно звертатися до фахівців-агрономів, економістів або спеціалізованих науково-дослідних установ, які

здатні провести детальний аналіз із урахуванням конкретних умов регіону та виробничих можливостей господарства [55, 56, 72].

Вирощування кукурудзи може бути економічно ефективним за умови науково обґрунтованого підходу до всіх елементів технології вирощування. Для цього необхідно враховувати як виробничі, так і природні чинники, які впливають на продуктивність і рентабельність, приймати обґрунтовані управлінські рішення та оптимізувати витрати ресурсів, у тому числі за рахунок добору високопродуктивних гібридів, оптимізації густоти стояння рослин та рівня мінерального живлення досліджуваної культури.

Для оцінки економічної ефективності вирощування зерна кукурудзи використовували загальновизнані методичні підходи із встановленням основних економічних показників: вартості валової продукції, виробничих витрат, собівартості 1 тонни зерна, умовного чистого прибутку та рівня рентабельності. Для розрахунків були прийняті ринкові ціни, які склалися в осінній період 2025 р. Ціна 1 тонни зерна кукурудзи становила 10800 грн.

Вартість зерна кукурудзи у досліді залежала від біологічних особливостей гібридів, густоти стояння рослин та позакоренових підживлень мікродобривами. Найнижчі її значення визначено у контрольних варіантах досліді з обробкою посівів водою – 72,1–86,9 тис. грн/га залежно від гібриду та густоти посіву (табл. 6.1). Проведення позакоренових підживлень мікродобривом Мікро-Мінераліс Кукурудза збільшило вартість зерна до 83,1–98,2 тис. грн/га, а мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза – до 85,6–101,0 тис. грн/га. Найвищу вартість зерна забезпечило вирощування гібридів ДКС 4391 (ФАО 350), ДКС 4712 (ФАО 370) і ДКС 5206 (ФАО 420) (рис. 6.1) та густота стояння рослин у діапазоні 60–70 тис./га (рис. 6.2).

У контрольних варіантах досліді з обробкою посівів водою витрати на виробництво зерна кукурудзи були відносно стабільними і варіювали в межах 42,7–44,3 тис. грн/га, що свідчить про незначну варіабельність даного показника (табл. 6.2). Найнижчими виробничі витрати визначено у варіанті вирощування гібриду ДКС 4109 (ФАО 320) за густоти стояння рослин

55 тис./га – 42,7 тис. грн/га, найвищими – за вирощування цього ж гібриду за щільності посівів 110 тис./га – 44,3 тис. грн/га. У більшості гібридів контрольних варіантів дослідження виробничих витрат не перевищували 1,0–1,2 тис. грн/га, що обумовлено сталою організацією технологічних процесів.

Таблиця 6.1

**Вартість зерна кукурудзи гібридів різних груп ФАО залежно від густоти
стояння рослин та позакоренових підживлень мікродобривами
(середнє за 2022–2024 рр.), тис. грн/га**

Гібрид (фактор А)	Густота стояння рослин, тис./га (фактор В)							
	55	60	65	70	75	80	90	110
Обробка водою – контроль (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	83,8	83,3	81,8	86,4	85,3	84,6	80,9	79,6
ДКС 4109 (ФАО 320)	79,9	85,5	85,0	86,5	85,5	82,3	82,2	81,3
ДКС 4391 (ФАО 350)	84,9	85,5	86,6	86,2	84,6	81,8	79,3	76,7
ДКС 4598 (ФАО 360)	83,9	82,0	82,0	79,4	80,7	80,6	75,6	72,1
ДКС 4712 (ФАО 370)	84,8	86,4	86,9	84,7	86,7	82,7	79,6	75,2
ДКС 5075 (ФАО 410)	82,6	82,5	84,8	83,9	83,9	84,3	81,2	80,0
ДКС 5206 (ФАО 420)	85,6	86,4	86,6	83,3	82,7	80,2	80,9	77,4
Аміно Ультра Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	97,1	96,6	94,7	100,1	99,1	95,3	94,5	94,9
ДКС 4109 (ФАО 320)	93,2	99,4	98,9	100,5	99,4	95,6	93,9	92,7
ДКС 4391 (ФАО 350)	98,9	99,5	100,4	100,2	98,3	93,5	90,8	94,1
ДКС 4598 (ФАО 360)	97,3	95,3	95,3	92,3	93,9	89,9	85,6	94,8
ДКС 4712 (ФАО 370)	98,5	100,5	101,0	98,2	100,7	93,3	91,2	93,9
ДКС 5075 (ФАО 410)	95,9	96,0	98,6	97,5	97,5	95,1	92,4	95,8
ДКС 5206 (ФАО 420)	99,7	100,5	100,8	96,9	96,3	93,5	90,9	97,3
Мікро-Мінераліс Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	94,0	93,5	91,8	97,1	96,0	92,3	91,6	92,0
ДКС 4109 (ФАО 320)	90,5	96,3	96,1	97,6	96,4	92,7	91,0	89,9
ДКС 4391 (ФАО 350)	96,2	96,7	97,6	97,3	95,3	90,6	88,2	91,4
ДКС 4598 (ФАО 360)	94,4	92,4	92,4	89,7	91,3	87,2	83,1	92,1
ДКС 4712 (ФАО 370)	95,7	97,7	98,2	95,4	97,7	90,5	88,5	91,2
ДКС 5075 (ФАО 410)	93,1	93,3	95,7	94,7	94,7	92,3	89,9	93,0
ДКС 5206 (ФАО 420)	96,9	97,6	97,8	94,1	93,5	90,9	88,3	94,6

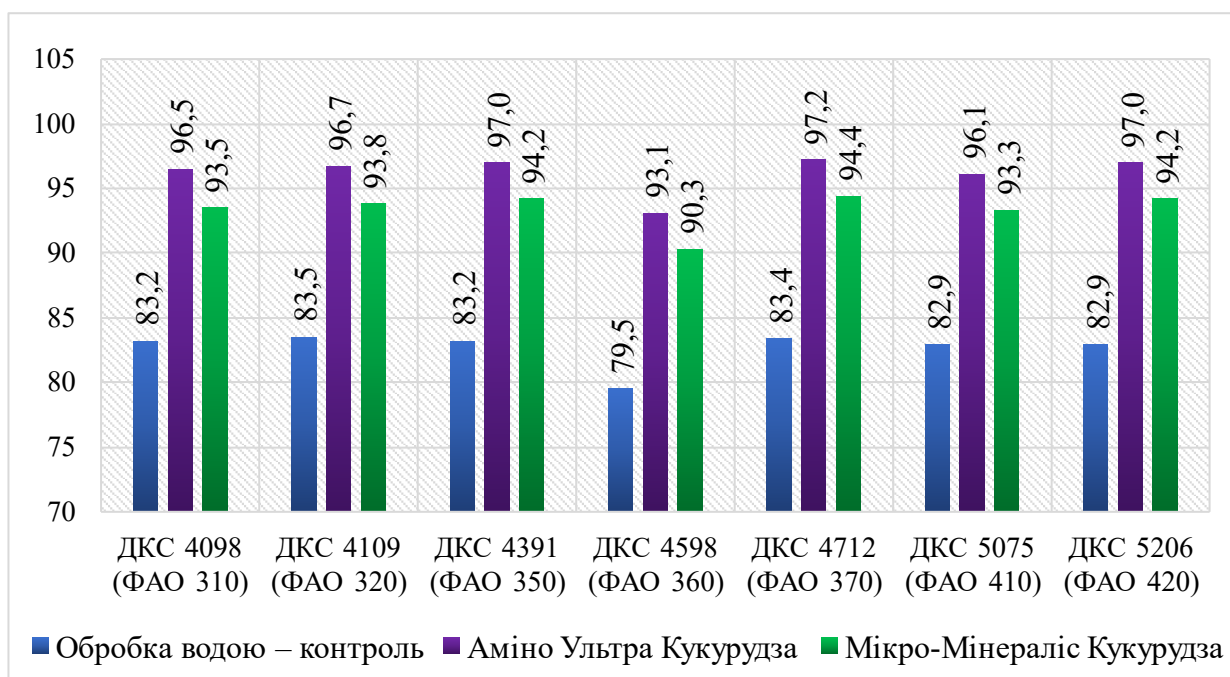


Рис. 6.1. Вплив позакореневих підживлень мікродобривами на вартість зерна гібридів кукурудзи різних груп ФАО у середньому за фактором В (середнє за 2022–2024 рр.), тис. грн/га

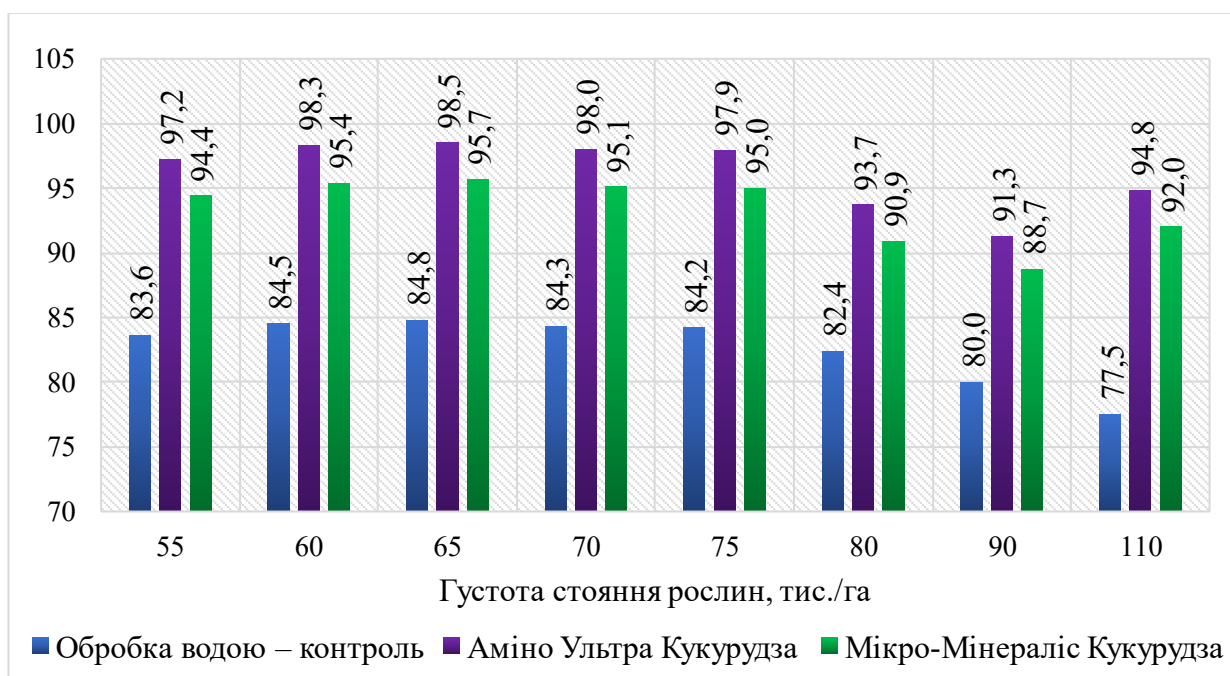


Рис. 6.2. Вплив густоти стояння рослин і позакореневих підживлень мікродобривами на вартість зерна кукурудзи у середньому за фактором А (середнє за 2022–2024 рр.), тис. грн/га

Проведення позакореневих підживлень мікродобривами призводило до збільшення витрат на виробництво у середньому на 2,0–3,0 тис. грн/га

порівняно з контрольними варіантами. При цьому різниця у витратах за варіантами використання мікродобрів була несуттєвою, що дозволяє розглядати обидва мікродобрива в якості технологічних аналогів за рівнем ресурсозатратності.

Таблиця 6.2

**Виробничі витрати на вирощування кукурудзи у досліді
(середнє за 2022–2024 рр.), тис. грн/га**

Гібрид (фактор А)	Густота стояння рослин, тис./га (фактор В)							
	55	60	65	70	75	80	90	110
Обробка водою – контроль (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	43,2	43,2	43,2	43,9	43,9	43,9	43,7	44,0
ДКС 4109 (ФАО 320)	42,7	43,5	43,6	43,9	43,9	43,6	43,9	44,3
ДКС 4391 (ФАО 350)	43,3	43,5	43,8	43,8	43,8	43,6	43,5	43,7
ДКС 4598 (ФАО 360)	43,2	43,1	43,2	43,0	43,3	43,4	43,1	43,2
ДКС 4712 (ФАО 370)	43,3	43,6	43,8	43,7	44,0	43,7	43,5	43,5
ДКС 5075 (ФАО 410)	43,0	43,1	43,5	43,6	43,7	43,9	43,7	44,1
ДКС 5206 (ФАО 420)	43,4	43,6	43,8	43,5	43,5	43,4	43,7	43,8
Аміно Ультра Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	45,4	46,2	46,3	46,6	46,6	46,3	46,3	46,7
ДКС 4109 (ФАО 320)	46,0	46,2	46,5	46,6	46,5	46,0	45,9	46,8
ДКС 4391 (ФАО 350)	45,9	45,7	45,9	45,6	45,9	45,6	45,3	46,9
ДКС 4598 (ФАО 360)	46,0	46,4	46,5	46,3	46,8	46,0	46,0	46,8
ДКС 4712 (ФАО 370)	45,7	45,8	46,3	46,3	46,4	46,2	46,1	47,0
ДКС 5075 (ФАО 410)	46,1	46,4	46,5	46,2	46,2	46,0	46,0	47,2
ДКС 5206 (ФАО 420)	45,4	46,2	46,3	46,6	46,6	46,3	46,3	46,7
Мікро-Мінераліс Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	45,6	45,7	45,6	46,4	46,3	46,0	46,2	46,7
ДКС 4109 (ФАО 320)	45,2	46,0	46,1	46,4	46,4	46,1	46,1	46,5
ДКС 4391 (ФАО 350)	45,9	46,1	46,3	46,4	46,3	45,8	45,8	46,7
ДКС 4598 (ФАО 360)	45,7	45,5	45,7	45,5	45,8	45,4	45,2	46,8
ДКС 4712 (ФАО 370)	45,8	46,2	46,4	46,1	46,6	45,8	45,8	46,6
ДКС 5075 (ФАО 410)	45,5	45,6	46,1	46,1	46,2	46,0	46,0	46,9
ДКС 5206 (ФАО 420)	46,0	46,2	46,3	46,0	46,0	45,9	45,8	47,1

Витрати на виробництво зерна гібридів кукурудзи різних груп ФАО у середньому за факторами густоти стояння рослин та позакоренових підживлень мікродобривами (фактори В і С) варіювали у досить вузькому діапазоні – від 45,1 до 45,4 тис. грн/га (рис. 6.3).

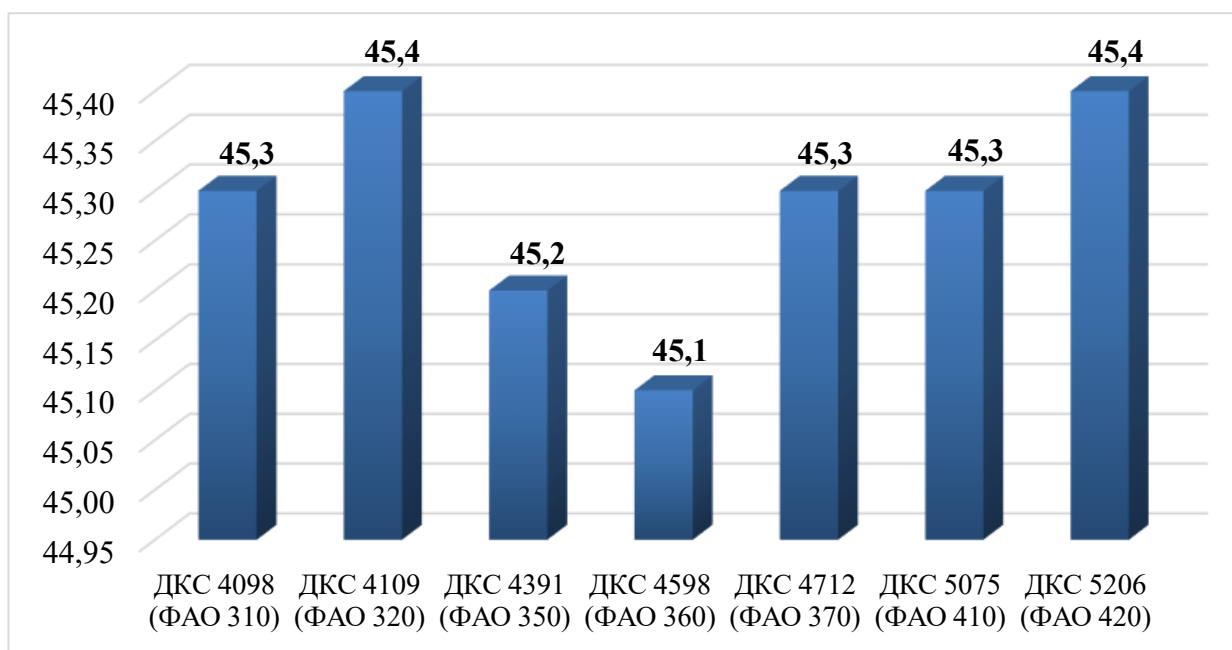


Рис. 6.3. Витрати на виробництво зерна гібридів кукурудзи різних груп ФАО у середньому за факторами В і С (середнє за 2022–2024 рр.), тис. грн/га

Витрати на виробництво зерна кукурудзи у середньому за факторами гібриду і позакоренових підживлень мікродобривами (А і С) залежно від густоти посівів варіювали в межах 44,9–45,8 тис. грн/га (рис. 6.4). Найнижчими їх було визначено за густоти стояння рослин 55 тис./га – 44,9 тис. грн/га. Ущільнення посівів до 75 тис./га збільшило їх до 45,5 тис. грн/га. У цьому діапазоні густот спостерігали чітку закономірність: чим більшою була густота стояння рослин, тим вищими формувалися витрати на виробництво. Подальше збільшення густоти посівів до 80–90 тис./га сприяло зменшенню виробничих витрат до 45,1–45,2 тис. грн/га, що пов'язано з більш низьким рівнем сформованої врожайності та зниженням витрат на збирання, транспортування і післязбиральну обробку зерна у цих варіантах дослідів. Проте максимальні витрати на виробництво визначено за густоти стояння рослин 110 тис./га – 45,8 тис. грн/га. У цих варіантах дослідів слід відзначити максимальну вартість насіннєвого матеріалу і більш високі витрати на збирання та післязбиральну обробку зерна порівняно з густотами 80–90 тис. рослин/га.

Структура виробничих витрат на вирощування кукурудзи характеризувалася домінуванням витрат на мінеральні добрива та паливно-

мастильні матеріали. Їх питома вага становила відповідно 34,2% (15,5 тис. грн/га) та 30,9% (14,0 тис. грн/га), що разом формує понад дві третини загальних витрат (рис. 6.5).

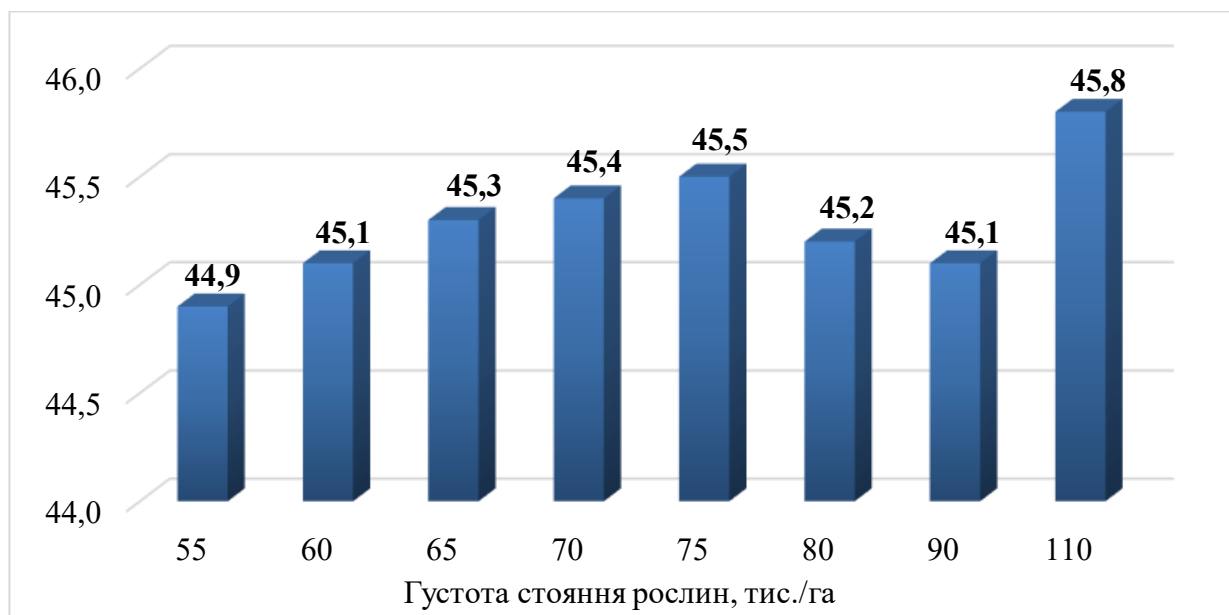


Рис. 6.4. Витрати на виробництво зерна кукурудзи залежно від густоти стояння рослин у середньому за факторами А і С (середнє за 2022–2024 рр.), тис. грн/га

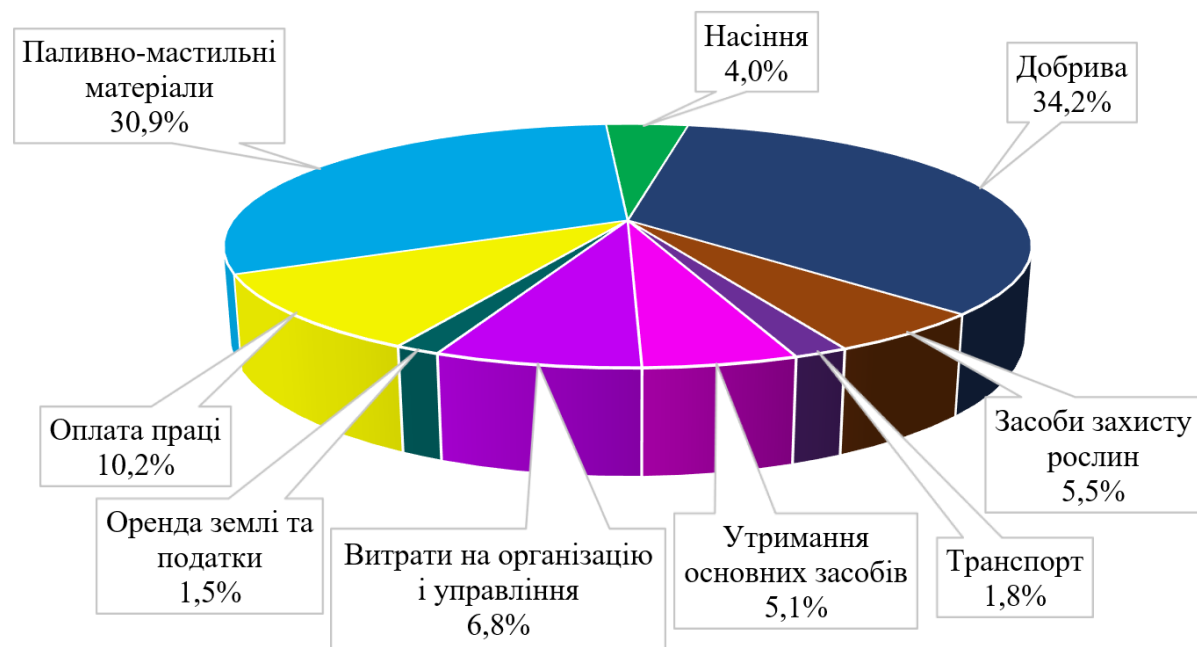


Рис. 6.5. Структура та питома вага витрат на виробництво зерна кукурудзи у середньому за досліджуваними факторами та роками вирощування, %

Значною статтею витрат також була оплата праці, частка якої склала 10,2% (4,6 тис. грн/га). Менш вагомими у структурі є витрати на організацію та

управління – 6,8% (3,1 тис. грн/га), засоби захисту рослин – 5,5% (2,5 тис. грн/га) та утримання основних засобів – 5,1% (2,3 тис. грн/га). Ще меншу частку формують витрати на насіння – 4,0% (1,8 тис. грн/га), транспорт – 1,8% (0,8 тис. грн/га), оренду землі та податки – 1,5% (0,7 тис. грн/га).

У контрольних варіантах дослід з обробкою посівів водою собівартість зерна кукурудзи коливалася в межах 5,44–6,47 тис. грн/т, з тенденцією до її суттєвого зростання зі збільшенням густоти стояння понад 80 тис./га, особливо у гібридів ДКС 4598 (ФАО 360) та ДКС 4712 (ФАО 370) (табл. 6.3).

Таблиця 6.3

Собівартість виробництва 1 т зерна кукурудзи залежно від досліджуваних факторів (середнє за 2022–2024 рр.), тис. грн

Гібрид (фактор А)	Густота стояння рослин, тис./га (фактор В)							
	55	60	65	70	75	80	90	110
Обробка водою – контроль (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	5,57	5,60	5,71	5,49	5,56	5,61	5,83	5,97
ДКС 4109 (ФАО 320)	5,77	5,49	5,54	5,48	5,54	5,72	5,77	5,88
ДКС 4391 (ФАО 350)	5,51	5,49	5,46	5,49	5,59	5,76	5,93	6,15
ДКС 4598 (ФАО 360)	5,56	5,68	5,69	5,85	5,80	5,82	6,16	6,47
ДКС 4712 (ФАО 370)	5,52	5,45	5,44	5,57	5,48	5,70	5,90	6,25
ДКС 5075 (ФАО 410)	5,62	5,64	5,54	5,61	5,62	5,62	5,81	5,95
ДКС 5206 (ФАО 420)	5,47	5,45	5,46	5,64	5,68	5,84	5,83	6,11
Аміно Ультра Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	5,05	5,17	5,28	5,03	5,08	5,25	5,29	5,31
ДКС 4109 (ФАО 320)	5,33	5,02	5,08	5,01	5,05	5,20	5,28	5,45
ДКС 4391 (ФАО 350)	5,01	4,96	4,94	4,91	5,04	5,27	5,39	5,38
ДКС 4598 (ФАО 360)	5,11	5,26	5,27	5,42	5,39	5,53	5,80	5,33
ДКС 4712 (ФАО 370)	5,01	4,92	4,95	5,09	4,98	5,35	5,46	5,41
ДКС 5075 (ФАО 410)	5,19	5,22	5,09	5,12	5,12	5,22	5,37	5,32
ДКС 5206 (ФАО 420)	4,92	4,96	4,96	5,20	5,22	5,35	5,50	5,18
Мікро-Мінераліс Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	5,24	5,28	5,36	5,16	5,21	5,38	5,45	5,48
ДКС 4109 (ФАО 320)	5,39	5,16	5,18	5,13	5,20	5,37	5,47	5,59
ДКС 4391 (ФАО 350)	5,15	5,15	5,12	5,15	5,25	5,46	5,61	5,52
ДКС 4598 (ФАО 360)	5,23	5,32	5,34	5,48	5,42	5,63	5,88	5,49
ДКС 4712 (ФАО 370)	5,17	5,10	5,10	5,22	5,15	5,47	5,59	5,52
ДКС 5075 (ФАО 410)	5,28	5,28	5,20	5,26	5,27	5,38	5,53	5,45
ДКС 5206 (ФАО 420)	5,13	5,11	5,11	5,28	5,31	5,45	5,60	5,38

Використання в технології вирощування кукурудзи мікродобрив знижувало собівартість одиниці вирощеної продукції. Так, за проведення позакоренових підживлень посівів мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза собівартість зменшилася порівняно з контролем на 0,40–0,55 тис. грн/т, що пов'язано з більш високим рівнем сформованої врожайності та кращою реалізацією генетичного потенціалу гібридів. Найнижчі показники собівартості забезпечили гібриди ДКС 4391 (ФАО 350) і ДКС 4712 (ФАО 370) за густоти стояння рослин 60–75 тис./га (4,91–5,09 тис. грн/т) та гібрид ДКС 5206 (ФАО 420) за густоти 55–65 тис./га (4,92–4,96 тис. грн/т).

За використання мікродобрива Мікро-Мінераліс Кукурудза також визначено зниження собівартості зерна порівняно з контролем, проте даний показник економічної ефективності був дещо вищим, ніж у варіантах проведення позакоренових підживлень мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза.

За результатами досліджень встановлено, що умовний чистий прибуток істотно варіював за впливу як біологічних особливостей гібридів, так і елементів технології, взятих на вивчення.

У контрольних варіантах досліді з обробкою посівів водою найвищі показники умовного чистого прибутку забезпечили гібриди ДКС 4712 (ФАО 370) і ДКС 5206 (ФАО 420) за густоти стояння рослин 60–65 тис./га та гібрид ДКС 4391 (ФАО 350) за густоти 65–70 тис./га – 42,4–43,1 тис. грн/га (табл. 6.4). Загущення посівів до 90–110 тис./га призвело до зменшення умовного чистого прибутку за вирощування всіх гібридів, узятих на вивчення.

Позакоренові підживлення мікродобривами суттєво збільшували умовний чистий прибуток у технології вирощування кукурудзи на зерно. Так, за використання мікродобрива Мікро-Мінераліс Кукурудза даний показник економічної ефективності збільшився на 5,3–16,4 тис. грн/га, а за використання мікродобрива Аміно Ультра Кукурудза – на 6,7–17,0 тис. грн/га порівняно з контролем.

У середньому за факторами В і С найвищий умовний чистий прибуток

забезпечили гібриди ДКС 4109 (ФАО 320), ДКС 4391 (ФАО 350), ДКС 4712 (ФАО 370) та ДКС 5206 (ФАО 420) – 46,0–46,3 тис. грн/га (рис. 6.6).

Таблиця 6.4

Умовний чистий прибуток за вирощування гібридів кукурудзи різних груп ФАО залежно від густоти стояння рослин та позакоренових підживлень мікродобривами (середнє за 2022–2024 рр.), тис. грн/га

Гібрид (фактор А)	Густота стояння рослин, тис./га (фактор В)							
	55	60	65	70	75	80	90	110
Обробка водою – контроль (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	40,6	40,1	38,6	42,5	41,4	40,7	37,2	35,6
ДКС 4109 (ФАО 320)	37,2	42,0	41,4	42,6	41,6	38,7	38,3	37,0
ДКС 4391 (ФАО 350)	41,6	42,0	42,8	42,4	40,8	38,2	35,8	33,0
ДКС 4598 (ФАО 360)	40,7	38,9	38,8	36,4	37,4	37,2	32,5	28,9
ДКС 4712 (ФАО 370)	41,5	42,8	43,1	41,0	42,7	39,0	36,1	31,7
ДКС 5075 (ФАО 410)	39,6	39,4	41,3	40,3	40,2	40,4	37,5	35,9
ДКС 5206 (ФАО 420)	42,2	42,8	42,8	39,8	39,2	36,8	37,2	33,6
Аміно Ультра Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	51,7	50,4	48,4	53,5	52,5	49,0	48,2	48,2
ДКС 4109 (ФАО 320)	47,2	53,2	52,4	53,9	52,9	49,6	48,0	45,9
ДКС 4391 (ФАО 350)	53,0	53,8	54,5	54,6	52,4	47,9	45,5	47,2
ДКС 4598 (ФАО 360)	51,3	48,9	48,8	46,0	47,1	43,9	39,6	48,0
ДКС 4712 (ФАО 370)	52,8	54,7	54,7	51,9	54,3	47,1	45,1	46,9
ДКС 5075 (ФАО 410)	49,8	49,6	52,1	51,3	51,3	49,1	46,4	48,6
ДКС 5206 (ФАО 420)	54,3	54,3	54,5	50,3	49,7	47,2	44,6	50,6
Мікро-Мінераліс Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	48,4	47,8	46,2	50,7	49,7	46,3	45,4	45,3
ДКС 4109 (ФАО 320)	45,3	50,3	50,0	51,2	50,0	46,6	44,9	43,4
ДКС 4391 (ФАО 350)	50,3	50,6	51,3	50,9	49,0	44,8	42,4	44,7
ДКС 4598 (ФАО 360)	48,7	46,9	46,7	44,2	45,5	41,8	37,9	45,3
ДКС 4712 (ФАО 370)	49,9	51,5	51,8	49,3	51,1	44,7	42,7	44,6
ДКС 5075 (ФАО 410)	47,6	47,7	49,6	48,6	48,5	46,3	43,9	46,1
ДКС 5206 (ФАО 420)	50,9	51,4	51,5	48,1	47,5	45,0	42,5	47,5

У середньому за факторами А і С умовний чистий прибуток варіював залежно від густоти стояння рослин у межах 41,5–47,7 тис. грн/га (рис. 6.7). Найвищий рівень прибутковості забезпечила щільність посівів у діапазоні 60–65 тис./га – 47,6–47,7 тис. грн/га.

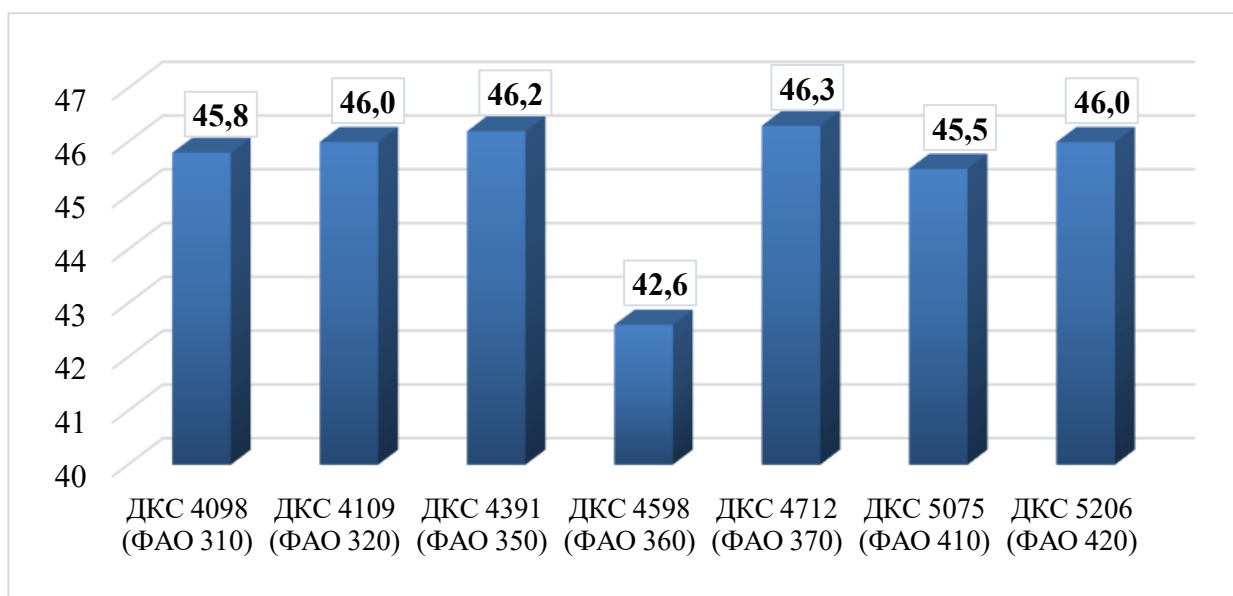


Рис. 6.6. Умовний чистий прибуток від виробництва зерна гібридів кукурудзи різних груп ФАО у середньому за факторами В і С (середнє за 2022–2024 рр.), тис. грн/га



Рис. 6.7. Умовний чистий прибуток від виробництва зерна кукурудзи залежно від густоти стояння рослин у середньому за факторами А і С (середнє за 2022–2024 рр.), тис. грн/га

Збільшення густоти стояння рослин до 80–110 тис./га супроводжувалося суттєвим зниженням економічної ефективності – умовний чистий прибуток варіював у межах 41,5–43,8 тис. грн/га, що свідчить про негативний вплив надмірного загущення посівів на реалізацію потенціалу досліджуваних гібридів та прибутковість виробництва кукурудзи.

Максимальний у досліді умовний чистий прибуток забезпечили гібриди кукурудзи ДКС 4391 (ФАО 350) за густоти стояння рослин 65–70 тис./га (54,5–54,6 тис. грн/га), ДКС 4712 (ФАО 370) за густоти 60–65 тис./га (54,7 тис. грн/га), ДКС 5206 (ФАО 420) за густоти 55–65 тис./га (54,3–54,5 тис. грн/га) за умови проведення двох позакоренових підживлень посівів мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза.

Найнижчий рівень рентабельності визначено у контрольних варіантах досліді – від 66,9% (гібрид ДКС 4598 за густоти 110 тис./га) до 98,4% (ДКС 4712 за густоти 65 тис./га) (табл. 6.5).

Таблиця 6.5

Рівень рентабельності виробництва зерна кукурудзи залежно від досліджуваних елементів технології вирощування (середнє за 2022–2024 рр.), %

Гібрид (фактор А)	Густота стояння рослин, тис./га (фактор В)							
	55	60	65	70	75	80	90	110
<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8	9
Обробка водою – контроль (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	94,0	92,8	89,4	96,8	94,3	92,7	85,1	80,9
ДКС 4109 (ФАО 320)	87,1	96,6	95,0	97,0	94,8	88,8	87,2	83,5
ДКС 4391 (ФАО 350)	96,1	96,6	97,7	96,8	93,2	87,6	82,3	75,5
ДКС 4598 (ФАО 360)	94,2	90,3	89,8	84,7	86,4	85,7	75,4	66,9
ДКС 4712 (ФАО 370)	95,8	98,2	98,4	93,8	97,0	89,2	83,0	72,9
ДКС 5075 (ФАО 410)	92,1	91,4	94,9	92,4	92,0	92,0	85,8	81,4
ДКС 5206 (ФАО 420)	97,2	98,2	97,7	91,5	90,1	84,8	85,1	76,7
Аміно Ультра Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	113,9	109,1	104,5	114,8	112,7	105,8	104,1	103,2
ДКС 4109 (ФАО 320)	102,6	115,2	112,7	115,7	113,8	107,8	104,6	98,1
ДКС 4391 (ФАО 350)	115,5	117,7	118,7	119,7	114,2	105,0	100,4	100,6
ДКС 4598 (ФАО 360)	111,5	105,4	104,9	99,4	100,6	95,4	86,1	102,6
ДКС 4712 (ФАО 370)	115,5	119,4	118,1	112,1	117,0	101,9	97,8	99,8
ДКС 5075 (ФАО 410)	108,0	106,9	112,0	111,0	111,0	106,7	100,9	103,0
ДКС 5206 (ФАО 420)	119,6	117,5	117,7	107,9	106,7	101,9	96,3	108,4
Мікро-Мінераліс Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	106,1	104,6	101,3	109,3	107,3	100,7	98,3	97,0
ДКС 4109 (ФАО 320)	100,2	109,3	108,5	110,3	107,8	101,1	97,4	93,3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ДКС 4391 (ФАО 350)	109,6	109,8	110,8	109,7	105,8	97,8	92,6	95,7
ДКС 4598 (ФАО 360)	106,6	103,1	102,2	97,1	99,3	92,1	83,8	96,8
ДКС 4712 (ФАО 370)	109,0	111,5	111,6	106,9	109,7	97,6	93,2	95,7
ДКС 5075 (ФАО 410)	104,6	104,6	107,6	105,4	105,0	100,7	95,4	98,3
ДКС 5206 (ФАО 420)	110,7	111,3	111,2	104,6	103,3	98,0	92,8	100,8

Позакореневі підживлення мікродобривом Мікро-Мінераліс Кукурудза збільшили рівень рентабельності до 83,8–111,6%, проте максимальні значення даного показника економічної ефективності забезпечила дворазова обробка посівів мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза – 86,1–119,6%.

Максимальні показники рівня рентабельності у досліді забезпечили гібриди ДКС 4391 (ФАО 350) за густоти стояння рослин 60–70 тис./га (117,7–119,7%), ДКС 4712 (ФАО 370) за густоти 60–65 тис./га (118,1–119,4%), ДКС 5206 (ФАО 420) за густоти 55–65 тис./га (117,5–119,6%) у варіантах з проведенням двох позакорневих підживлень мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза.

6.2. Енергетична ефективність вирощування кукурудзи

Енергетичний аналіз технології вирощування кукурудзи дозволяє комплексно оцінити ефективність використання енергії в агроєкосистемах, виявити найбільш енергоємні технологічні операції та визначити шляхи їх оптимізації. Застосування енергозберігаючих елементів технології, зокрема раціонального добору гібридів, оптимізації густоти стояння рослин і рівня удобрення, сприяє зниженню непродуктивних енерговитрат та антропогенного навантаження на агроландшафти, що забезпечує підвищення конкурентоспроможності виробництва зерна кукурудзи завдяки зменшенню собівартості та збільшенню виходу енергії з одиниці площі. Впровадження науково обґрунтованих агротехнологій та інтегрованих енергозберігаючих систем землеробства підвищує стійкість та екологічну безпеку агроєкосистем,

одночасно забезпечуючи зростання економічної ефективності та довгострокову стабільність виробництва [169, 206].

Енергетичний аналіз виробництва зерна кукурудзи спрямований на додаткову оцінку ефективності використання ресурсо- та енергозберігаючих технологій, що має важливе значення для оптимізації сучасних систем землеробства. Такий підхід дозволяє не лише визначити раціональність використання агротехнічних ресурсів – мінеральних добрив, засобів захисту рослин, мікродобрив, води для зрошення тощо, а й оцінити використання природних чинників – родючості ґрунту, агрокліматичних умов, рівня зволоження та температурного режиму. Врахування енергетичних показників за вирощування кукурудзи забезпечує більш обґрунтоване планування технологій, сприяє зниженню антропогенного навантаження на агроландшафти та підвищенню економічної й екологічної ефективності аграрного виробництва [43, 45, 61, 104].

Сучасні технології вирощування кукурудзи повинні базуватися на комплексному врахуванні ґрунтово-кліматичних умов кожного господарства з метою максимально ефективного використання наявних ресурсів. Такий підхід дозволить знизити непродуктивні витрати сукупної енергії, оптимізувати співвідношення між енергетичними витратами та отриманим урожаєм, а також попередити надмірне антропогенне навантаження на довкілля. Використання адаптованих до конкретних умов гібридів, раціональне внесення добрив, регулювання густоти стояння рослин, застосування енергозберігаючих технологічних операцій забезпечують підвищення стійкості агроєкосистем, збереження родючості ґрунтів та конкурентоспроможність аграрного виробництва [146, 232].

Проведена нами енергетична оцінка досліджуваних елементів технології вирощування кукурудзи дозволяє здійснити порівняльну оцінку ефективності густоти стояння рослин гібридів різних груп ФАО та позакоренових підживлень посівів мікродобривами.

У контрольних варіантах досліду з обробкою посівів водою показники

надходження енергії з урожаєм зерна кукурудзи варіювали в межах 67,6–81,5 ГДж/га залежно від гібриду та густоти стояння рослин (табл. 6.6).

Таблиця 6.6

Надходження енергії з урожаєм зерна кукурудзи залежно від досліджуваних факторів (середнє за 2022–2024 рр.), ГДж/га

Гібрид (фактор А)	Густота стояння рослин, тис./га (фактор В)							
	55	60	65	70	75	80	90	110
Обробка водою – контроль (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	78,6	78,1	76,6	81,0	80,0	79,3	75,8	74,6
ДКС 4109 (ФАО 320)	74,9	80,2	79,7	81,1	80,2	77,2	77,1	76,2
ДКС 4391 (ФАО 350)	79,6	80,2	81,2	80,8	79,3	76,6	74,3	71,9
ДКС 4598 (ФАО 360)	78,7	76,8	76,8	74,4	75,6	75,5	70,9	67,6
ДКС 4712 (ФАО 370)	79,5	81,0	81,5	79,4	81,3	77,6	74,6	70,5
ДКС 5075 (ФАО 410)	77,5	77,4	79,5	78,7	78,7	79,1	76,1	75,0
ДКС 5206 (ФАО 420)	80,3	81,0	81,2	78,1	77,6	75,2	75,8	72,6
Аміно Ультра Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	91,0	90,5	88,8	93,9	92,9	89,3	88,6	89,0
ДКС 4109 (ФАО 320)	87,4	93,2	92,7	94,3	93,2	89,6	88,0	86,9
ДКС 4391 (ФАО 350)	92,7	93,3	94,2	94,0	92,1	87,7	85,2	88,2
ДКС 4598 (ФАО 360)	91,2	89,3	89,3	86,6	88,0	84,2	80,3	88,9
ДКС 4712 (ФАО 370)	92,3	94,3	94,7	92,0	94,4	87,5	85,5	88,0
ДКС 5075 (ФАО 410)	89,9	90,0	92,4	91,4	91,4	89,2	86,7	89,8
ДКС 5206 (ФАО 420)	93,5	94,3	94,5	90,8	90,3	87,7	85,3	91,2
Мікро-Мінераліс Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	88,1	87,7	86,1	91,0	90,0	86,6	85,9	86,3
ДКС 4109 (ФАО 320)	84,8	90,3	90,1	91,5	90,4	86,9	85,4	84,2
ДКС 4391 (ФАО 350)	90,2	90,6	91,5	91,2	89,3	84,9	82,7	85,7
ДКС 4598 (ФАО 360)	88,5	86,7	86,7	84,1	85,6	81,7	77,9	86,4
ДКС 4712 (ФАО 370)	89,7	91,6	92,0	89,4	91,6	84,8	82,9	85,5
ДКС 5075 (ФАО 410)	87,3	87,5	89,7	88,8	88,8	86,6	84,2	87,2
ДКС 5206 (ФАО 420)	90,8	91,5	91,7	88,2	87,7	85,3	82,8	88,7

Дворазова обробка посівів мікродобрином Мікро-Мінераліс Кукурудза збільшила показник надходження енергії з урожаєм на 6,2–18,8 ГДж/га або 8,2–27,8%. Ще більший приріст показника забезпечило проведення позакоренових підживлень мікродобрином Аміно Ультра Кукурудза – 8,7–21,3 ГДж/га або 11,5–31,5%.

Максимальні у досліді показники надходження енергії з урожаєм визначено у варіантах вирощування гібридів ДКС 4391 (ФАО 350), ДКС 4712 (ФАО 370), ДКС 5206 (ФАО 420) за густоти стояння рослин 60–70 тис./га з проведенням позакоренових підживлень мікродобрином Аміно Ультра Кукурудза.

У контрольних варіантах досліді (обробка посівів водою) рівень енерговитрат був відносно стабільним і коливався у межах 47,9–50,1 ГДж/га (табл. 6.7). Найнижчі показники витрат енергії визначено за густоти стояння рослин 55–65 тис./га, а поступове збільшення щільності посівів до 110 тис./га зумовлювало деяке їх зростання.

Проведення позакоренових підживлень мікродобрином Мікро-Мінераліс Кукурудза супроводжувалося підвищенням витрат енергії порівняно з контролем. Залежно від гібриду і густоти стояння рослин це зростання становило 2,7–4,8 ГДж/га або 5,5–9,9%. Залежність енерговитрат від щільності посівів виявилася такою ж самою, як і в контрольних варіантах досліді.

Дещо менше зростання витрат енергії порівняно з контролем визначено у варіантах використання мікродобрива Аміно Ультра Кукурудза – 2,4–4,8 ГДж/га або 4,9–9,9%. При цьому, як і в інших варіантах за фактором С, спостерігали тенденцію до зростання енерговитрат зі збільшенням густоти стояння рослин, максимальні значення яких забезпечила щільність посівів 110 тис./га.

Зовсім іншу закономірність між варіантами досліді визначено за показником приросту енергії. У контрольних варіантах з обробкою посівів водою максимальні значення даного показника забезпечила густота стояння рослин 60–70 тис./га, зокрема за вирощування гібридів ДКС 4109 (ФАО 320), ДКС 4391 (ФАО 350) та ДКС 4712 (ФАО 370) приріст енергії становив 30,1–32,1 ГДж/га (табл. 6.8). Водночас, збільшення густоти стояння рослин до 90–110 тис./га призводило до суттєвого зниження приросту енергії.

Проведення позакоренових підживлень посівів мікродобрином Аміно Ультра Кукурудза сприяло суттєвому зростанню приросту енергії. Найвищі

його показники визначено за вирощування гібридів ДКС 4391 (ФАО 350), ДКС 4712 (ФАО 370) та ДКС 5206 (ФАО 420) – 41,9–42,2 ГДж/га. При цьому оптимальна густота стояння рослин для більшості досліджуваних гібридів знаходилася у межах 60–70 тис./га. Ущільнення посівів понад 90 тис./га призводило до зниження даного показника енергетичної ефективності.

Таблиця 6.7

**Витрати енергії на технологію вирощування кукурудзи на зерно
(середнє за 2022–2024 рр.), ГДж/га**

Гібрид (фактор А)	Густота стояння рослин, тис./га (фактор В)							
	55	60	65	70	75	80	90	110
Обробка водою – контроль (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	48,6	48,6	48,6	49,5	49,5	49,5	49,3	49,7
ДКС 4109 (ФАО 320)	47,9	49,0	49,1	49,5	49,5	49,1	49,5	50,1
ДКС 4391 (ФАО 350)	48,7	49,0	49,4	49,4	49,4	49,1	49,0	49,3
ДКС 4598 (ФАО 360)	48,6	48,5	48,6	48,3	48,7	48,9	48,5	48,6
ДКС 4712 (ФАО 370)	48,7	49,1	49,4	49,3	49,7	49,3	49,0	49,0
ДКС 5075 (ФАО 410)	48,3	48,5	49,0	49,1	49,3	49,5	49,3	49,8
ДКС 5206 (ФАО 420)	48,9	49,1	49,4	49,0	49,0	48,9	49,3	49,4
Аміно Ультра Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	51,6	52,6	52,8	53,2	53,2	52,8	52,8	53,3
ДКС 4109 (ФАО 320)	52,4	52,6	53,0	53,2	53,0	52,4	52,2	53,4
ДКС 4391 (ФАО 350)	52,2	52,0	52,2	51,8	52,2	51,8	51,4	53,6
ДКС 4598 (ФАО 360)	52,4	52,9	53,0	52,8	53,4	52,4	52,4	53,4
ДКС 4712 (ФАО 370)	52,0	52,1	52,8	52,8	52,9	52,6	52,5	53,7
ДКС 5075 (ФАО 410)	52,5	52,9	53,0	52,6	52,6	52,4	52,4	54,0
ДКС 5206 (ФАО 420)	51,6	52,6	52,8	53,2	53,2	52,8	52,8	53,3
Мікро-Мінераліс Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	51,8	52,0	51,8	52,9	52,8	52,4	52,6	53,3
ДКС 4109 (ФАО 320)	51,3	52,4	52,5	52,9	52,9	52,5	52,5	53,0
ДКС 4391 (ФАО 350)	52,2	52,5	52,8	52,9	52,8	52,1	52,1	53,3
ДКС 4598 (ФАО 360)	52,0	51,7	52,0	51,7	52,1	51,6	51,3	53,4
ДКС 4712 (ФАО 370)	52,1	52,6	52,9	52,5	53,2	52,1	52,1	53,2
ДКС 5075 (ФАО 410)	51,7	51,8	52,5	52,5	52,6	52,4	52,4	53,6
ДКС 5206 (ФАО 420)	52,4	52,6	52,8	52,4	52,4	52,2	52,1	53,8

Приріст енергії за вирощування кукурудзи залежно від досліджуваних факторів (середнє за 2022–2024 рр.), ГДж/га

Гібрид (фактор А)	Густота стояння рослин, тис./га (фактор В)							
	55	60	65	70	75	80	90	110
Обробка водою – контроль (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	30,0	29,5	28,0	31,5	30,5	29,8	26,5	24,9
ДКС 4109 (ФАО 320)	27,0	31,2	30,6	31,6	30,7	28,1	27,6	26,1
ДКС 4391 (ФАО 350)	30,9	31,2	31,8	31,4	29,9	27,5	25,3	22,6
ДКС 4598 (ФАО 360)	30,1	28,3	28,2	26,1	26,9	26,6	22,4	19,0
ДКС 4712 (ФАО 370)	30,8	31,9	32,1	30,1	31,6	28,3	25,6	21,5
ДКС 5075 (ФАО 410)	29,2	28,9	30,5	29,6	29,4	29,6	26,8	25,2
ДКС 5206 (ФАО 420)	31,4	31,9	31,8	29,1	28,6	26,3	26,5	23,2
Аміно Ультра Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	39,4	37,9	36,0	40,7	39,7	36,5	35,8	35,7
ДКС 4109 (ФАО 320)	35,0	40,6	39,7	41,1	40,2	37,2	35,8	33,5
ДКС 4391 (ФАО 350)	40,5	41,3	42,0	42,2	39,9	35,9	33,8	34,6
ДКС 4598 (ФАО 360)	38,8	36,4	36,3	33,8	34,6	31,8	27,9	35,5
ДКС 4712 (ФАО 370)	40,3	42,2	41,9	39,2	41,5	34,9	33,0	34,3
ДКС 5075 (ФАО 410)	37,4	37,1	39,4	38,8	38,8	36,8	34,3	35,8
ДКС 5206 (ФАО 420)	41,9	41,7	41,7	37,6	37,1	34,9	32,5	37,9
Мікро-Мінераліс Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	36,3	35,7	34,3	38,1	37,2	34,2	33,3	33,0
ДКС 4109 (ФАО 320)	33,5	37,9	37,6	38,6	37,5	34,4	32,9	31,2
ДКС 4391 (ФАО 350)	38,0	38,1	38,7	38,3	36,5	32,8	30,6	32,4
ДКС 4598 (ФАО 360)	36,5	35,0	34,7	32,4	33,5	30,1	26,6	33,0
ДКС 4712 (ФАО 370)	37,6	39,0	39,1	36,9	38,4	32,7	30,8	32,3
ДКС 5075 (ФАО 410)	35,6	35,7	37,2	36,3	36,2	34,2	31,8	33,6
ДКС 5206 (ФАО 420)	38,4	38,9	38,9	35,8	35,3	33,1	30,7	34,9

Використання у технології вирощування кукурудзи мікродобрива Мікро-Мінераліс Кукурудза також позитивно позначилося на показниках приросту енергії, хоча вони були дещо нижчими порівняно з мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза. Оптимальна густота стояння рослин залишилася на рівні 60–70 тис./га, а її збільшення до 90–110 тис./га призводило до помітного зниження приросту енергії.

Абсолютний максимум приросту енергії у досліді забезпечили гібриди ДКС 4391 (ФАО 350) за густоти стояння рослин 65–70 тис./га, ДКС 4712 (ФАО 370) за густоти 60–65 тис./га та ДКС 5206 (ФАО 420) за густоти 55–65 тис./га з проведенням двох позакореневих підживлень мікродобрином Аміно Ультра Кукурудза – 41,7–42,2 ГДж/га.

Коефіцієнт енергетичної ефективності відображає співвідношення між енергією, яку культура акумулює у вигляді врожаю, та сумарними енерговитратами на її вирощування. У середньому по досліді він становить 1,65, в усіх варіантах – перевищує одиницю, що обґрунтовує енергетичну доцільність кожного варіанту досліді (табл. 6.9).

За результатами проведених розрахунків встановлено, що використання мікродобрив у технології вирощування кукурудзи суттєво підвищує коефіцієнт енергетичної ефективності порівняно з контролем (обробка посівів водою). Отримані результати доводять, що інтенсифікація фізіологічних процесів, обумовлена оптимальним забезпеченням рослин мікроелементами, сприяє суттєвому збільшенню врожайності за відносно незначних додаткових енергетичних витрат. Найвищі у досліді значення коефіцієнту енергетичної ефективності (1,79–1,81) визначено у варіантах з проведенням позакореневих підживлень мікродобрином Аміно Ультра Кукурудза.

У всіх досліджуваних варіантах спостерігали чітку тенденцію до зниження коефіцієнту енергетичної ефективності зі збільшенням густоти стояння рослин. Найвищі його значення забезпечила щільність посівів 55–70 тис. рослин/га. Надмірне загущення (90–110 тис./га) призводило до посилення внутрішньовидової конкуренції, що негативно позначилося на індивідуальній продуктивності рослин і, як наслідок, призвело до меншої віддачі енергії, накопиченої з урожаєм.

Максимальні у досліді значення коефіцієнту енергетичної ефективності забезпечили гібриди ДКС 4391 (ФАО 350) за густоти посіву 60–70 тис./га, ДКС 4712 (ФАО 370) за густоти 60–65 тис./га та ДКС 5206 (ФАО 420) за густоти 55–65 тис./га у варіантах з проведенням позакореневих підживлень

мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза – 1,79–1,81. Тобто зазначені гібриди показали максимальну у досліді здатність щодо ефективного перетворення енергії.

Таблиця 6.9

Коефіцієнт енергетичної ефективності залежно від досліджуваних факторів (середнє за 2022–2024 рр.)

Гібрид (фактор А)	Густота стояння рослин, тис./га (фактор В)							
	55	60	65	70	75	80	90	110
Обробка водою – контроль (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	1,62	1,61	1,58	1,64	1,62	1,60	1,54	1,50
ДКС 4109 (ФАО 320)	1,56	1,64	1,62	1,64	1,62	1,57	1,56	1,52
ДКС 4391 (ФАО 350)	1,63	1,64	1,64	1,64	1,61	1,56	1,52	1,46
ДКС 4598 (ФАО 360)	1,62	1,58	1,58	1,54	1,55	1,54	1,46	1,39
ДКС 4712 (ФАО 370)	1,63	1,65	1,65	1,61	1,64	1,57	1,52	1,44
ДКС 5075 (ФАО 410)	1,60	1,60	1,62	1,60	1,60	1,60	1,54	1,51
ДКС 5206 (ФАО 420)	1,64	1,65	1,64	1,59	1,58	1,54	1,54	1,47
Аміно Ультра Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	1,76	1,72	1,68	1,77	1,75	1,69	1,68	1,67
ДКС 4109 (ФАО 320)	1,67	1,77	1,75	1,77	1,76	1,71	1,69	1,63
ДКС 4391 (ФАО 350)	1,78	1,79	1,80	1,81	1,76	1,69	1,66	1,65
ДКС 4598 (ФАО 360)	1,74	1,69	1,68	1,64	1,65	1,61	1,53	1,66
ДКС 4712 (ФАО 370)	1,78	1,81	1,79	1,74	1,78	1,66	1,63	1,64
ДКС 5075 (ФАО 410)	1,71	1,70	1,74	1,74	1,74	1,70	1,65	1,66
ДКС 5206 (ФАО 420)	1,81	1,79	1,79	1,71	1,70	1,66	1,62	1,71
Мікро-Мінераліс Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	1,70	1,69	1,66	1,72	1,70	1,65	1,63	1,62
ДКС 4109 (ФАО 320)	1,65	1,72	1,72	1,73	1,71	1,66	1,63	1,59
ДКС 4391 (ФАО 350)	1,73	1,73	1,73	1,72	1,69	1,63	1,59	1,61
ДКС 4598 (ФАО 360)	1,70	1,68	1,67	1,63	1,64	1,58	1,52	1,62
ДКС 4712 (ФАО 370)	1,72	1,74	1,74	1,70	1,72	1,63	1,59	1,61
ДКС 5075 (ФАО 410)	1,69	1,69	1,71	1,69	1,69	1,65	1,61	1,63
ДКС 5206 (ФАО 420)	1,73	1,74	1,74	1,68	1,67	1,63	1,59	1,65

Енергоємність – показник енергетичної ефективності, який відображає кількість енергії, витраченої на виробництво одиниці продукції. Гібриди кукурудзи, взяті на вивчення, характеризувалися різними значеннями

енергоємності. Найнижчі показники забезпечили гібриди ДКС 4391 (ФАО 350), ДКС 4712 (ФАО 370) та ДКС 5206 (ФАО 420) (табл. 6.10).

Таблиця 6.10

Енергоємність вирощування зерна кукурудзи залежно від досліджуваних факторів (середнє за 2022–2024 рр.), ГДж/т

Гібрид (фактор А)	Густота стояння рослин, тис./га (фактор В)							
	55	60	65	70	75	80	90	110
Обробка водою – контроль (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	6,26	6,30	6,42	6,19	6,27	6,32	6,58	6,74
ДКС 4109 (ФАО 320)	6,47	6,19	6,24	6,18	6,25	6,44	6,50	6,65
ДКС 4391 (ФАО 350)	6,20	6,19	6,16	6,19	6,31	6,49	6,68	6,94
ДКС 4598 (ФАО 360)	6,25	6,39	6,40	6,57	6,52	6,55	6,93	7,28
ДКС 4712 (ФАО 370)	6,20	6,14	6,14	6,29	6,19	6,44	6,65	7,04
ДКС 5075 (ФАО 410)	6,31	6,35	6,24	6,32	6,34	6,34	6,56	6,72
ДКС 5206 (ФАО 420)	6,17	6,14	6,16	6,36	6,40	6,58	6,58	6,89
Аміно Ультра Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	5,74	5,88	6,02	5,74	5,80	5,99	6,03	6,06
ДКС 4109 (ФАО 320)	6,07	5,72	5,79	5,71	5,76	5,92	6,01	6,22
ДКС 4391 (ФАО 350)	5,70	5,65	5,61	5,58	5,74	5,98	6,11	6,15
ДКС 4598 (ФАО 360)	5,82	6,00	6,01	6,18	6,14	6,30	6,61	6,08
ДКС 4712 (ФАО 370)	5,70	5,60	5,65	5,81	5,68	6,09	6,22	6,18
ДКС 5075 (ФАО 410)	5,91	5,95	5,81	5,83	5,83	5,95	6,12	6,09
ДКС 5206 (ФАО 420)	5,59	5,65	5,66	5,93	5,96	6,10	6,27	5,92
Мікро-Мінераліс Кукурудза (фактор С)								
ДКС 4098 (ФАО 310)	5,95	6,00	6,09	5,88	5,94	6,13	6,20	6,26
ДКС 4109 (ФАО 320)	6,12	5,87	5,90	5,85	5,92	6,12	6,23	6,37
ДКС 4391 (ФАО 350)	5,86	5,87	5,84	5,87	5,99	6,21	6,38	6,30
ДКС 4598 (ФАО 360)	5,95	6,04	6,07	6,22	6,17	6,39	6,67	6,26
ДКС 4712 (ФАО 370)	5,88	5,81	5,82	5,95	5,88	6,22	6,36	6,30
ДКС 5075 (ФАО 410)	6,00	6,00	5,93	5,99	6,00	6,13	6,30	6,23
ДКС 5206 (ФАО 420)	5,84	5,82	5,83	6,02	6,05	6,20	6,37	6,14

За результатами досліджень встановлено, що зі збільшенням густоти стояння рослин енергоємність виробництва зерна кукурудзи зростала. Загущені посіви характеризувалися більшими витратами енергії на кожну одиницю отриманого врожаю. Мінімальну енергоємність у досліді визначено за густоти

55–75 тис. рослин/га, ущільнення посівів до 80–110 тис. рослин/га призводило до її суттєвого зростання (рис. 6.8).

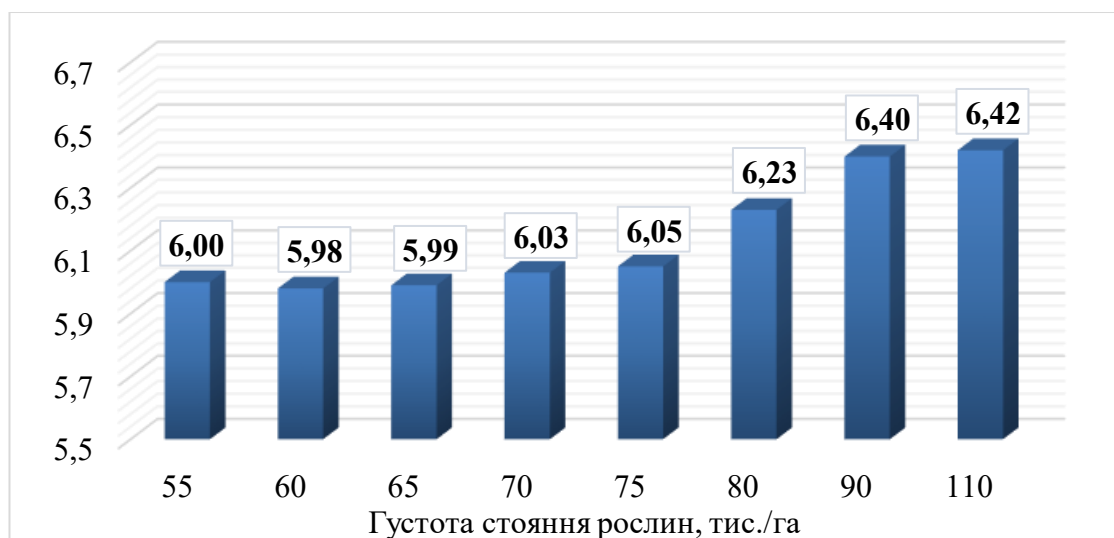


Рис. 6.8. Енергоємність вирощування зерна кукурудзи залежно від густоти стояння рослин у середньому за факторами А і С (середнє за 2022–2024 рр.), ГДж/т

Проведення позакореневих підживлень мікродобривами суттєво знижувало енергоємність виробництва зерна. У контрольних варіантах дослідження енергоємність варіювала в межах 6,14–7,28 ГДж/т. Дворазова обробка посівів мікродобривом Мікро-Мінераліс Кукурудза зменшила даний показник енергетичної ефективності на 0,16–1,02 ГДж/т або 2,4–14,0%, а мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза – на 0,25–1,20 ГДж/т або 3,82–16,48%, тобто енерговитрати на проведення позакореневих підживлень мікродобривами цілком окуповуються з енергетичної точки зору приростом урожайності.

Найнижчі показники енергоємності у досліді забезпечили гібриди ДКС 4391 (ФАО 350) за густоти посіву 60–70 тис./га, ДКС 4712 (ФАО 370) за густоти 60–65 тис./га та ДКС 5206 (ФАО 420) за густоти 55–65 тис./га у варіантах з проведенням позакореневих підживлень мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза – 5,58–5,66 ГДж/т.

Висновки до розділу 6

1. Витрати на виробництво зерна кукурудзи у досліді коливалися в межах 42,7–47,2 тис. грн/га. В їх структурі домінували витрати на мінеральні добрива

та паливно-мастильні матеріали, сумарна частка яких у середньому по досліді перевищила 65%.

2. Собівартість зерна у варіантах без використання мікродобрив становила 5,44–6,47 тис. грн/т та мала тенденцію до зростання за надмірного загущення посівів. Позакореневі підживлення мікродобривами сприяли її зменшенню, особливо за використання мікродобрива Аміно Ультра Кукурудза (4,91–5,80 тис. грн/т). Найнижчі показники собівартості забезпечили гібриди ДКС 4391 (ФАО 350) і ДКС 4712 (ФАО 370) за густоти стояння рослин 60–75 тис./га (4,91–5,09 тис. грн/т) та гібрид ДКС 5206 (ФАО 420) за густоти 55–65 тис./га (4,92–4,96 тис. грн/т).

3. Загущення посівів понад 75 тис./га суттєво знижувало показники умовного чистого прибутку та рівня рентабельності, а проведення позакореневих підживлень мікродобривами, навпаки, збільшувало їх. Незалежно від гібриду і густоти стояння рослин, більш високими зазначені показники економічної ефективності визначено за використання мікродобрива Аміно Ультра Кукурудза.

4. Максимальні у досліді показники умовного чистого прибутку та рівня рентабельності забезпечили гібриди кукурудзи ДКС 4391 (ФАО 350) за густоти стояння рослин 65–70 тис./га (54,5–54,6 тис. грн/га і 118,7–119,7%), ДКС 4712 (ФАО 370) за густоти 60–65 тис./га (54,7 тис. грн/га і 118,1–119,4%) та ДКС 5206 (ФАО 420) за густоти 55–65 тис./га (54,3–54,5 тис. грн/га і 117,5–119,6%) за умови проведення двох позакореневих підживлень посівів мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза.

5. У контрольних варіантах досліді з обробкою посівів водою надходження енергії з урожаєм зерна кукурудзи становило 67,6–81,5 ГДж/га залежно від гібриду та густоти стояння рослин, а коефіцієнт енергетичної ефективності коливався в межах 1,50–1,65, що обґрунтовує доцільність вирощування культури навіть без використання мікродобрив.

6. Проведення позакореневих підживлень мікродобривами суттєво підвищувало енергетичну ефективність технології вирощування кукурудзи.

Більш ефективним з енергетичної точки зору визначено мікродобриво Аміно Ультра Кукурудза, використання якого сприяло зростанню надходження енергії на 8,7–21,3 ГДж/га (11,5–31,5%) та приросту енергії до 41,9–42,2 ГДж/га за відносно незначного збільшення енерговитрат.

7. Найкращі показники енергетичної ефективності забезпечила густота стояння рослин 60–70 тис./га. Надмірне загущення посівів (90–110 тис./га) призводило до посилення внутрішньовидової конкуренції, зниження індивідуальної продуктивності рослин, зростання енергоємності виробництва та зменшення коефіцієнта енергетичної ефективності.

8. Максимальні показники надходження (93,3–94,7 ГДж/га) і приросту енергії з урожаєм зерна (41,9–42,2 ГДж/га), енергетичного коефіцієнту (1,79–1,81) та мінімальну енергоємність виробництва (5,58–5,66 ГДж/т) забезпечили гібриди ДКС 4391 (ФАО 350), ДКС 4712 (ФАО 370) та ДКС 5206 (ФАО 420) за густоти стояння рослин 55–70 тис./га з проведенням позакореневих підживлень мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза.

ВИСНОВКИ

1. Аналізом наукових джерел обґрунтовано значення кукурудзи та можливість підвищення її продуктивності завдяки раціональному добору гібридів, оптимізації густоти стояння рослин і застосуванню мікродобрив, що потребує подальших досліджень для вдосконалення технологій вирощування культури в сучасних агроекологічних умовах України.

2. Ґрунтово-кліматичні умови Північного Степу України забезпечують сприятливі умови для росту та розвитку рослин кукурудзи, дозволяють реалізувати її продукційний потенціал за різних агрокліматичних умов і створюють можливості для сталого формування високої зернової продуктивності.

3. Найвищі значення площі листкової поверхні (30,4–36,2 тис. м²/га), фотосинтетичного потенціалу (1,63–1,99 млн м²/добу/га), чистої продуктивності фотосинтезу (6,42–7,06 г/м²/добу) та накопичення сухої надземної біомаси (27,41–32,61 т/га у мікростадії ВВСН 65) забезпечили гібриди ДКС 4712, ДКС 4598 та ДКС 4391 за густоти стояння 60–80 тис./га та дворазового підживлення мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза. Надмірне загущення посівів (90–110 тис./га) знижувало зазначені показники через внутрішньовидову конкуренцію рослин. Між площею листкової поверхні, фотосинтетичним потенціалом, чистою продуктивністю фотосинтезу та врожайністю зерна встановлено сильні і дуже сильні кореляційні зв'язки ($R^2 = 0,81–0,99$).

4. Сумарне водоспоживання посівів кукурудзи значно залежало від агрокліматичних умов року вирощування, що зумовило істотну різницю (майже втричі) між найбільш зволженим (2022) і найбільш посушливим (2024) роками. Найменші витрати води на формування тонни зерна (283–288 м³/т) забезпечили гібриди ДКС 4391, ДКС 4712 та ДКС 5206 за густоти стояння рослин 60–70 тис./га з дворазовим підживленням мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза. Загущення посівів понад 90 тис./га збільшувало коефіцієнт водоспоживання, а позакореневі підживлення істотно його знижували (на 11–

17%). Між сумарним водоспоживанням, коефіцієнтом водоспоживання та врожайністю зерна встановлено дуже сильний кореляційний зв'язок ($R^2 = 0,93-0,99$).

5. Збиральна вологість зерна кукурудзи формувалася за комплексного впливу генетичних особливостей гібридів, густоти стояння рослин та позакоренових підживлень мікродобривами. Зі збільшенням тривалості вегетації гібриду та проведенням позакоренових підживлень мікродобривами вона зростала, а загущення посівів знижувало її, що обумовлено як біологічними особливостями гібридів, так і фізіолого-біохімічними механізмами адаптації рослин до умов вирощування.

6. Встановлено певне зниження виходу зерна з качанів кукурудзи за збільшення густоти стояння рослин та його зростання з проведенням позакоренових підживлень мікродобривами. Максимальний вихід зерна визначено у гібридів ДКС 4109 та ДКС 4712 за густоти стояння рослин 55 тис./га і проведення дворазової обробки посівів мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза – 82,6–83,2%.

7. Максимальну масу 1000 зерен формували гібриди ДКС 5075 і ДКС 5206 за густоти стояння 55 тис./га та дворазової обробки посівів мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза – 345,6–347,7 г. Встановлено дуже сильну зворотну залежність ($R^2 = 0,99$) між масою 1000 зерен та густотою стояння рослин.

8. Найвищу врожайність зерна кукурудзи у досліді забезпечило дворазове позакоренове підживлення посівів мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза за вирощування гібридів ДКС 4712 і ДКС 5206 з густотою стояння рослин 60–65 тис./га (9,21–9,24 т/га), ДКС 4109 з густотою 70 тис./га (9,20 т/га) та ДКС 4391 з густотою 65–70 тис./га (9,18–9,19 т/га).

9. Вміст сирого протеїну в зерні кукурудзи зростав із загущенням посівів до 80 тис./га. Мікродобрива збільшили його на 0,11–0,26% з більш вираженим ефектом за використання Аміно Ультра Кукурудза. Найвищий вміст сирого протеїну в зерні формував гібрид ДКС 4391 – 7,82%. Максимальний умовний

вихід білка забезпечив діапазон густот 70–80 тис./га (0,65 т/га), із досліджуваних гібридів – гібрид ДКС 4391 (0,66 т/га). Найбільш суттєво на даний показник впливали позакореневі підживлення мікродобривами, які збільшили його з 0,56 т/га у контролі до 0,67 т/га за використання мікродобрива Аміно Ультра Кукурудза.

10. Встановлено від’ємну кореляцію між вмістом білка та жиру: за водного дефіциту вміст білка в зерні знижувався, проте олійність формувалася максимальною. Найвищий вміст жиру в зерні накопичували гібриди ДКС 4712, ДКС 5206 та ДКС 4391. Загущення посівів до 80 тис./га знижувало його з 4,00 до 3,78% з наступним збільшенням до 3,94% за густоти рослин 110 тис./га. Дворазове підживлення мікродобривами дещо знижувало вміст жиру в зерні, проте за рахунок рівня врожайності умовний вихід олії з гектару посівів зростав. Найвищим (0,36–0,37 т/га) його формували гібриди ДКС 4712, ДКС 5206 та ДКС 4391 за густоти рослин 55–70 тис./га з проведенням позакореневих підживлень мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза.

11. Максимальні у досліді показники умовного чистого прибутку (54,3–54,7 тис. грн/га), рівня рентабельності (118–120%), надходження (93,3–94,7 ГДж/га) і приросту енергії з урожаєм зерна (41,9–42,2 ГДж/га), енергетичного коефіцієнту (1,79–1,81) та мінімальну енергоємність виробництва (5,58–5,66 ГДж/т) забезпечило вирощування гібридів кукурудзи ДКС 4391, ДКС 4712 та ДКС 5206 з густотою стояння рослин 55–70 тис./га та дворазовим позакореневим підживленням мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

З метою отримання врожайності зерна на рівні 9,2 т/га з високим умовним виходом білка і олії з гектару посівів (0,6–0,7 та 0,4 т/га), досягнення максимальної економічної та енергетичної ефективності технології вирощування кукурудзи за показників умовного чистого прибутку 54,3–54,7 тис. грн/га, рівня рентабельності 118–120% та енергетичного коефіцієнту 1,8 в умовах Північного Степу України рекомендуємо:

1. Вирощувати гібриди марки ДЕКАЛБ ДКС 4391 (ФАО 350), ДКС 4712 (ФАО 370), ДКС 5206 (ФАО 420), які характеризуються підвищеним адаптивним потенціалом та здатністю формувати сталі рівні зернової продуктивності за різних агрокліматичних умов.

2. Для формування оптимальної площі живлення та максимальної продуктивності вирощуваних гібридів забезпечити густоти рослин:

- ДКС 4391 (ФАО 350) – 65–70 тис./га;
- ДКС 4712 (ФАО 370) – 60–65 тис./га;
- ДКС 5206 (ФАО 420) – 55–65 тис./га.

3. З метою підвищення фізіолого-біохімічної активності, стресостійкості та оптимізації мінерального живлення за вирощування всіх гібридів у фазі утворення 3–5 і 7–9 справжніх листків (ВВСН 13 – ВВСН 15 та ВВСН 17 – ВВСН 19) проводити позакореневі підживлення посівів мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза у дозі 0,75 кг/га з витратою робочого розчину 300 л/га.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аверчев О. В., Іванів М. О., Лавриненко Ю. О. Індекси врожайності та ефективної продуктивності у гібридів кукурудзи різних груп ФАО за різних способів поливу та вологозабезпеченості в посушливому степу України. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2020. № 114. С. 3–12. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.114.1>.
2. Аверчев О. В., Іванів М. О., Лавриненко Ю. О. Мінливість елементів структури продуктивності у гібридів кукурудзи різних груп ФАО та їх зв'язок з урожайністю зерна за різних способів поливу та вологозабезпеченості у посушливому степу України. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2020. Вип. 112. С. 3–15. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.112.1>.
3. Аверчев О. В., Іванів М. О., Лавриненко Ю. О. Фотосинтетична активність та продуктивність гібридів кукурудзи за різних способів поливу та вологозабезпеченості у посушливому Степу України. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2019. № 110, Ч. 1. С. 3–13. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.110-1.1>.
4. Аверчев О. В., Сидякіна О. В. Ґрунтознавство : практикум. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2020. 136 с. URL: <https://surl.li/hvibzv>.
5. Адаменко Т. І. Агрокліматичне зонування території України з врахуванням зміни клімату. Київ, 2014. 16 с. URL: <https://surl.li/mksese>.
6. Андрієнко А., Романенко М. Густота як фактор продуктивності кукурудзи. *Пропозиція*. 2013. URL: <https://surli.cc/rhenua>.
7. Андрієнко О. О., Васильковська К. В., Андрієнко А. Л. Реакція гібридів кукурудзи на зміну густоти стояння рослин у Північному Степу України. *Збірник наукових праць Уманського національного університету*. 2020. Вип. 96, Ч. I. С. 635–650. DOI: <https://doi.org/10.31395/2415-8240-2020-96-1-635-651>.

8. Бандровський Д., Циганська О. Формування продуктивності кукурудзи залежно від оптимізації системи удобрення. *Корми і кормовий білок* : матеріали XVI Міжнародної наукової конференції, 19–20 вересня 2024 р. Вінниця, 2024. С. 55–58. DOI: <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo2024conf>.
9. Басюк П. Л., Козак Л. А., Грабовський М. Б., Качан Л. М. Зміна фотосинтетичного потенціалу посівів кукурудзи залежно від застосування мікродобрих та регуляторів росту рослин. *Хімія, біотехнологія, екологія та освіта* : збірник матеріалів VIII Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 15–16 травня 2024 р. Полтава, 2024. С. 214–217. URL: <https://surl.lu/bhhvlg>.
10. Береза Б. В., Коваль Т. В. Фотосинтез і продуктивність рослин. *Актуальні проблеми охорони рослинного світу та відновлення біорозмаїття*. 2020. С. 36–37. URL: <https://surl.li/reyamj>.
11. Вакерич М. М., Кишко К. М., Гедзур Т. І., Глюдзик-Шемота М. Ю. Ґрунтознавство : навчально-методичний посібник. Ужгород, 2022. 94 с. URL: <https://surl.lu/wdhrms>.
12. Вакуленко Д. Врожайність гібридів кукурудзи в Центральній Україні. *Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки* : матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції, 10–12 листопада 2021 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2021. С. 192–194. URL: <https://surl.li/izywdt>.
13. Варгатюк В. Екологічна пластичність та стабільність гібридів кукурудзи. *Сільськогосподарські науки* : збірник студентських наукових праць. 2022. № 1 (5). С. 26–29. URL: <https://surl.li/dezwgd>.
14. Вожегова Р. А., Белов Я. В. Агроекономічна оцінка технології вирощування гібридів кукурудзи в умовах зрошення півдня України. *Зрошуване землеробство* : збірник наукових праць. 2019. Вип. 71. С. 154–157. DOI: <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2019.71.33>.

15. Вожегова Р. А., Бєлов Я. В. Водоспоживання гібридів кукурудзи залежно від елементів технології в зрошуваних умовах Південного Степу України. *Таврійський науковий вісник*. 2019. № 108. С. 12–18. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.108.2>.
16. Вожегова Р. А., Лавриненко Ю. О., Марченко Т. Ю., Пілярська О. О., Скакун В. М. Удосконалення елементів агротехніки вирощування нових гібридів кукурудзи в умовах Центрального Лісостепу України. *Вісник аграрної науки*. 2023. № 11 (848). С. 5–10. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202311-01>.
17. Волощук О. П., Волощук І. С., Глива В. В., Пащак М. О. Біологічні вимоги гібридів кукурудзи до умов вирощування в Західному Лісостепу. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2019. Вип. 65. С. 22–36. DOI: [https://www.doi.org/10.32636/01308521.2019-\(65\)-3](https://www.doi.org/10.32636/01308521.2019-(65)-3).
18. Волощук О. П., Стасів О. Ф., Глива В. В., Пащак М. О. Вплив передпосівної обробки насіння мікродобривами на продуктивність гібридів кукурудзи в умовах Західного Лісостепу України. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2021. Вип. 69 (1). С. 44–61. DOI: [https://doi.org/10.32636/01308521.2021-\(69\)-3](https://doi.org/10.32636/01308521.2021-(69)-3).
19. Гаврилюк В. М., Коваленко Н. П., Кривенко А. І., Орехівський В. Д., Вакуленко В. В. Ефективність вирощування високопродуктивних гібридів кукурудзи з підвищеним адаптивним потенціалом до несприятливих умов довкілля. *Аграрні інновації*. 2022. № 15. С. 97–103. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.15.15>.
20. Гетман Н. Я. Формування врожаю кукурудзи залежно від густоти стояння рослин за мінерального фону живлення. *Сільське господарство та лісівництво*. 2024. № 2 (33). С. 55–65. DOI: <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2024-2-5>.
21. Глупак З. І., Бутенко А. О. Урожайність гібридів кукурудзи на зерно залежно від групи стиглості та густоти стояння в умовах Лісостепу

- України. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2022. № 2. С. 5–10. DOI: <https://doi.org/10.32782/2310-0478-2022-2-5-10>.
22. Говенько Р. В. Вплив технологічних прийомів вирощування на формування елементів структури врожаю гібридів кукурудзи. *Агробіологія*. 2022. № 2. С. 68–78. DOI: <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2022-174-2-68-78>.
23. Гончарук І. В., Ємчик Т. В., Купчук І. М., Телекало Н. В., Гонтарук Я. В. Напрями вдосконалення вирощування та переробки кукурудзи на біопаливо. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2022. № 125. С. 25–32. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.125.4>.
24. Грабовський М. Сівба кукурудзи. *Агрономія Сьогодні*. 2011. URL: <https://surl.li/ddziwk>.
25. Ґрунтознавство : підручник / Д. Г. Тихоненко та ін.; за ред. Д. Г. Тихоненко. Київ : Вища освіта, 2005. 703 с. URL: <https://surl.li/zqbfwb>.
26. Димитров С. Г., Саблук В. Т. Формування площі листової поверхні рослин сільськогосподарських культур залежно від маси кореневої системи за її мікоризації. *Біоенергетика*. 2022. № 1–2. С. 29–31. DOI: <https://doi.org/10.47414/be.1-2.2022.271348>.
27. Дисперсійний і кореляційний аналіз у землеробстві та рослинництві : навч. посіб. / Ушкаренко В. О., Нікішенко В. Л., Голобородько С. П., Коковіхін С. В. Херсон : Айлант, 2008. 272 с. URL: <https://surl.li/mfwawh>.
28. Діброва А., Діброва Л., Чміль А., Діброва М., Гузь М. Моделювання впливу вартості мінеральних добрив на результативність виробництва й експорту кукурудзи з України. *Agricultural and resource economics: international scientific e-journal*. 2022. Vol. 8 (3). Р. 123–152. URL: <https://surl.li/klrrnk>.
29. Дідора В. Г., Смаглій О. Ф., Ермантраут Е. Р. Методика наукових досліджень в агрономії : навч. посіб. К. : Центр учбової літератури, 2013. 264 с. URL: <https://surl.li/smbzfy>.

30. Дідур І. М. Динаміка формування площі листкової поверхні залежно від сортових особливостей, вапнування ґрунту та системи живлення. *Сільське господарство та лісівництво*. 2022. № 4. С. 204–216. DOI: <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2022-1-15>.
31. Дідур І., Богомаз С. Сучасний стан і перспективи вирощування кукурудзи в Україні. *Сільське господарство та лісівництво*. 2023. № 2 (29). С. 153–161. DOI: <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2023-13>.
32. Дослідна справа в агрономії: навчальний посібник: у 2 кн. Кн. 2. Статистична обробка результатів агрономічних досліджень / Рожков А. О. та ін. ; за ред. Рожкова А. О. Харків, 2016. 342 с. URL: <https://surl.lt/nqlady>.
33. Дослідна справа в агрономії: навчальний посібник: у 2 кн. Кн. 1. Теоретичні аспекти дослідної справи / Рожков А. О. та ін. ; за ред. Рожкова А. О. Харків, 2016. 316 с. URL: <https://surli.cc/dqprrh>.
34. ДСТУ 4138–2002. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. [Чинний від 2004-01-01]. Київ, 2003. 170 с. (Інформація та документація). URL: <https://surl.li/gumedl>.
35. ДСТУ ISO 6492:2003. Корми для тварин. Визначення вмісту жиру. [Чинний від 2005-01-01]. Київ, 2005. 24 с. (Національний стандарт України). URL: <https://surl.li/mybbkr>.
36. Економічні системи в умовах глобальної нестійкості: шляхи оновлення і модернізації : монографія / за заг. ред. Н. В. Шандової. Херсон : Книжкове вид-во Вишемирський В. С., 2025. 335 с. URL: <https://surl.li/meqqod>.
37. Єрмакова Л. М., Крестьянінов Є. В. Урожайність кукурудзи залежно від удобрення та гібриду на темно-сірих опідзолених ґрунтах. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2016. № 4. С. 63–65. URL: <https://surl.li/agshgt>.
38. Жемела Г. П., Бараболя О. В., Ляшенко В. В., Ляшенко Є. С., Подоляк В. А. Формування продуктивності зерна гібридами кукурудзи

залежно від норми висіву. *Вісник ПДАА*. 2021. № 1. С. 97–105. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.01.11>.

39. Засуха А. А. Обґрунтування елементів технології вирощування кукурудзи на зерно та виробництва паливних пелет : дис. ... доктора філософії : 201 Агрономія / Білоцерківський національний аграрний університет. Біла Церква, 2025. 214 с. URL: <https://surl.lu/bdhsru>.
40. Іванишин О. С. Показники структури урожаю зерна кукурудзи залежно від гібриду, норми добрив та мікродобрива в умовах Лісостепу Західного. *Молодий вчений*. 2021. № 3 (91). С. 15–19. DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2021-3-91-4>.
41. Іванів М. О., Репілевський Д. Е. Площа асиміляційної поверхні листків та урожайність гібридів кукурудзи різних груп ФАО залежно від способів зрошення в умовах Південного Степу України. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2021. Вип. 117. С. 64–73. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.117.9>.
42. Іванів М. О., Репілевський Д. Е. Фотосинтетичні показники та урожайність гібридів кукурудзи залежно від елементів технології. *Аграрні інновації*. 2021. № 4. С. 38–44. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2020.4.6>.
43. Іванів М. О., Сидякіна О. В. Біоенергетична оцінка технології вирощування гібридів кукурудзи різних груп ФАО в умовах зрошення півдня України. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2013. Вип. 86. С. 30–34. URL: <https://surl.lu/sshanb>.
44. Іванів М. О., Сидякіна О. В. Економічна ефективність вирощування гібридів кукурудзи різних груп стиглості в умовах зрошення Південного Степу України. *Науково-практичне обґрунтування розвитку аграрного виробництва та бізнесу в Україні : збірник тез та повідомлень Всеукраїнської науково-практичної конференції, 21–22 червня 2012 року*. Херсон, 2012. С. 22. URL: <https://surl.li/gfqona>.
45. Іванів М. О., Сидякіна О. В. Енергетична оцінка технології вирощування гібридів кукурудзи різних груп ФАО на поливних землях півдня України.

Проблеми сільського господарства на сучасному етапі та шляхи їх вирішення : матеріали науково-практичної Інтернет-конференції. Миколаїв : Миколаївська ДСДС ІЗЗ, 2012. С. 91–93. URL: <https://surl.li/vhzmbm>.

46. Іванів М. О., Сидякіна О. В., Артюшенко В. В. Вплив агроекологічних умов вирощування на морфо-біологічні показники гібридів кукурудзи різних груп стиглості. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2012. № 80. Ч. 2. С. 257–261. URL: <https://surl.li/qhggoe>.
47. Іванів М. О., Сидякіна О. В., Артюшенко В. В. Еколого-генетична мінливість урожайності гібридів кукурудзи на зерно різних груп стиглості в умовах зрошення півдня України. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія: Технічні науки*. 2013. Вип. 1 (61). С. 47–54. URL: <https://surli.cc/ggxqnz>.
48. Іванів М. О., Сидякіна О. В., Гамула Є. А. Вплив густоти рослин та позакоренових підживлень мікродобривами на врожайність гібридів кукурудзи марки ДЕКАЛБ в умовах Північного Степу України. *Аграрні інновації*. 2025. № 31. С. 59–66. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2025.31.10>.
49. Іванів М. О., Сидякіна О. В., Гамула Є. А. Вплив густоти стояння рослин та мікродобрив на водоспоживання гібридів кукурудзи в умовах Північного Степу України. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2025. Вип. 3 (48). С. 37–42. DOI: <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2025-3.4>.
50. Іванів М. О., Сидякіна О. В., Гамула Є. А. Вплив густоти стояння рослин та позакоренових підживлень мікродобривами на вихід зерна з качанів гібридів кукурудзи різних груп ФАО. *Ротмістровські читання частина 2: технології вирощування сільськогосподарських культур та трансформація властивостей ґрунту в умовах змін клімату* : збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої до 130-річчя

заснування Одеської державної сільськогосподарської дослідної станції, смт Хлібодарське, 25 вересня 2025 року. Одеса : Одеська ДСДС ІКОСГ НААН, 2025. С. 131–134. DOI: <https://www.doi.org/10.32782/25092025>.

51. Іванів М. О., Сидякіна О. В., Гамула Є. А. Вплив густоти стояння рослин та позакореневих підживлень мікродобривами на збиральну вологість зерна гібридів кукурудзи різних груп ФАО. *Адаптація агровиробництва до змін клімату та ґрунтової родючості* : збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції, 9 жовтня 2025 р., с-ще Полігон, Миколаївського району, Миколаївської області, Україна. Миколаївська державна сільськогосподарська дослідна станція Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН України, 2025. С. 120–123. DOI: <https://www.doi.org/10.32782/10-15-10-2025>.
52. Іванів М. О., Сидякіна О. В., Гамула Є. А. Вплив умов зволоження, біологічних особливостей гібридів і густоти стояння рослин на вміст сирого протеїну в зерні кукурудзи. *Український журнал природничих наук*. 2025. № 13. С. 273–281. DOI: <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.25>.
53. Іванів М. О., Сидякіна О. В., Гамула Є. А. Формування площі листкової поверхні посівів кукурудзи залежно від агробіологічних факторів в умовах Північного Степу України. *Таврійський науковий вісник. Серія Сільськогосподарські науки*. 2025. № 145. Т. 1. С. 134–144. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.145.1.16>.
54. Іванів М. О., Сидякіна О. В., Гамула Є. А. Формування якості зерна гібридів кукурудзи марки DEKALB залежно від густоти стояння рослин та позакореневих підживлень мікродобривами. *Аграрні інновації*. 2025. № 32. С. 89–94. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2025.32.14>.
55. Ільїна В., Шпатар К. Аналіз еколого-агрохімічного стану ґрунтів Херсонської області. *Аграрний вісник Причорномор'я*. 2020. № 97. С. 162–167. DOI: <https://doi.org/10.37000/abbsl.2020.97.20>.
56. Камінський В. Ф., Асанішвілі Н. М. Економічна ефективність технологій вирощування кукурудзи різного рівня інтенсивності. *Вісник аграрної науки*

Причорномор'я. 2020. Вип. 3 (107). С. 28–34. DOI: [https://doi.org/10.31521/2313-092X/2020-3\(107\)-4](https://doi.org/10.31521/2313-092X/2020-3(107)-4).

57. Князюк О. В., Липовий В. Г., Підпалій І. Ф. Вплив технологічних прийомів вирощування на фотосинтетичну продуктивність гібридів кукурудзи. *Агробіологія*. 2012. № 9. С. 116–120. URL: <https://surl.li/juukky>
58. Коваль Р. В., Польовий А. М. Оцінка впливу підвищених концентрацій вуглекислого газу в атмосфері на фотосинтез рослин типу С3 та С4. *Матеріали XIX наукової конференції молодих вчених Одеського державного екологічного університету*, 25–29 травня 2020 р. Одеса, 2020. С. 53–54. URL: <https://surl.lu/tozwwa>.
59. Копач І. С., Петров І. В. Природні небезпеки метеорологічного характеру в Україні та захист від них. *Участь молоді у розбудові агропромислового комплексу країни* : матеріали 27-ї студ. наук.-теорет. конф., 25–27 березня 2015 р. Миколаїв : МНАУ, 2015. С. 176–179.
60. Косогорова Ю. 7 вимог фермерів до кукурудзи у 2024 році. *Зерно*. 2024. № 1. URL: <https://surli.cc/hqojpn>.
61. Крестьянінов Є. В., Єрмакова Л. М., Антал Т. В. Економічна та енергетична ефективність вирощування кукурудзи залежно від мінеральних добрив та позакореневого підживлення посівів. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2020. № 5 (87). С. DOI: <https://doi.org/10.31548/dopovidi2020.05.006>.
62. Лавриненко Ю. О., Вожегова Р. А., Базалій В. В., Марченко Т. Ю., Іванів М. О. Адаптивна здатність гібридів кукурудзи за різних способів поливу та вологозабезпеченості у посушливому Степу України. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2020. Т. 27. С. 125–131. DOI: <https://doi.org/10.7124/FEEO.v27.1314>.
63. Лавриненко Ю. О., Іванів М. О. Продуктивність та адаптивна здатність гібридів кукурудзи залежно від способів поливу і вологозабезпеченості у посушливому Степу України. *Зернові культури*. 2019. Т. 3, № 2. С. 207–216. DOI: <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0079>.

64. Лавриненко Ю. О., Марченко Т. Ю., Пілярська О. О., Кобизєва Л. Н., Міщенко С. В., Грабовський М. Б. Фотосинтетичні показники гібридів кукурудзи залежно від густоти посіву і обробітку біопрепаратами за умов зрошення. *Аграрні інновації*. 2022. № 12. С. 41–47. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.12.7>.
65. Лавріненко І. Г., Лісовий В. М. Вплив густоти стояння на формування врожайності зерна кукурудзи. *Сучасні аспекти і технології у захисті рослин*: матеріали VI Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 26 листопада 2024 р. Полтава : ПДАУ, 2024. С. 102–104. URL: <https://surl.li/hmpbjl>.
66. Ласло О. О., Олєпир Р. В. Ефективність комплексного удобрення в технології вирощування кукурудзи. *Український журнал природничих наук*. 2025. № 11. С. 170–177. DOI: <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.18>.
67. Лихочвор В. В., Петриченко В. Ф. Рослинництво. Сучасні інтенсивні технології вирощування основних польових культур. Львів : НВФ «Українські технології», 2006. 730 с. URL: <https://surl.li/nzkvsm>.
68. Любич В. В. Формування продуктивності різних гібридів кукурудзи. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2020. Вип. 97, Ч. 1. С. 32–44. DOI: <https://doi.org/10.31395/2415-8240-2020-97-1-32-44>.
69. Мазур В. А., Шевченко Н. В. Формування площі листової поверхні рослин гібридів кукурудзи залежно від технологічних прийомів вирощування. 2018. Т. 10, № 12. С. 108–114. URL: <https://surl.li/rxfaww>.
70. Мазур О. В., Мазур О. В., Лозінський М. В. Селекція та насінництво польових культур : навчальний посібник. Вінниця : ТВОРИ, 2020. 348 с. URL: <https://surl.li/afjnha>.
71. Масик І. М., Захарченко Е. А. Продуктивність та економічна ефективність вирощування кукурудзи на зерно за різних систем основного обробітку ґрунту в умовах Лівобережного Лісостепу України. *Вісник Харківського національного аграрного університету імені В. В. Докучаєва. Серія:*

Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство, екологія ґрунтів. 2017. № 1. С. 146–154. URL: <https://surl.lt/vbndgf>.

72. Мащенко Ю. В. Методологія прогнозування та програмування врожаїв польових культур. Кропивницький : ЦНТУ, 2023. 32 с. URL: <https://surl.li/gxentj>.
73. Медведовський О. К., Іваненко П. І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві. К. : Урожай, 1988. 208 с.
74. Методичні положення та норми продуктивності і витрати палива на обробіток ґрунту / Пивовар В. С. та ін. К. : НДІ Укراгропром-продуктивність, 2010. 584 с. URL: <https://surl.li/rfgzbg>.
75. Методичні положення та норми продуктивності і витрати палива на сівбі, садінні та догляді за посівами / Пивовар В. С. ін. К. : Украгропром-продуктивність, 2010. 192 с. URL: <https://surl.li/drtagg>.
76. Мелешко І. О., Сидякіна О. В. Вплив структурних показників на врожайність зерна гібридів кукурудзи різних груп стиглості. *Сучасна наука: стан та перспективи розвитку у сільському господарстві* : матеріали II Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених з нагоди Дня науки. Херсон, 10 листопада 2020 р. С. 23–27. URL: <https://surli.cc/kyvbdd>.
77. Мелешко І. О., Сидякіна О. В. Особливості мінерального живлення кукурудзи на зерно. *Сучасна наука: стан та перспективи розвитку* : Матеріали V Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених з нагоди Дня науки в Україні, 19 травня 2022 р. Херсон, 2022. С. 32–34. URL: <https://surl.li/xmjxot>.
78. Мелешко І. О., Сидякіна О. В. Сучасний сортимент гібридів кукурудзи на зерно на українському ринку. *Сучасна наука: стан та перспективи розвитку* : матеріали III Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених з нагоди Дня науки. Херсон, 19 травня 2021 р. С. 59–63. URL: <https://surl.lu/gvnyey>.

79. Мокрієнко В. А., Мокрієнко В. В., Ільченко К. О., Теребус О. В. Удосконалення технології вирощування кукурудзи в умовах кліматичних змін. *Science in the modern world: innovations and challenges* : the 9 th International scientific and practical conference, May 15–17, 2025. Perfect Publishing, Toronto, Canada, 2025. P. 30–33. URL: <https://surl.lu/glckgm>.
80. Морозов О. В., Морозова О. С., Іванів М. О., Керімов А. Н. Ефективність вирощування кукурудзи на зерно в Україні. *Таврійський науковий вісник*. 2021. Вип. 119. С. 83–91. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.119.12>.
81. Морозова Л. Українське – значить якісне. *The Ukrainian Farmer*. 2018. № 2. URL: <https://agrotimes.ua/magazine/the-ukrainian-farmer/>.
82. Мостіпан М., Хитрий О. Вплив густоти стояння рослин на продуктивність посівів кукурудзи в Степу України. *Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки* : матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції, 8–10 листопада 2023 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2023. С. 353–355. URL: <https://surl.li/zjsgxy>.
83. Мурач О. М., Лемешев Д. Р., Бердін С. І. Реалізація генетичного потенціалу сучасних гібридів кукурудзи за рахунок оптимізації густоти рослин. *Популяційна екологія рослин: сучасний стан, точки росту* : матеріали Другого міжнародного симпозіуму до 90-річчя з дня народження Злобіна Юліана Андрійовича, доктора біологічних наук, професора, Заслуженого діяча науки і техніки України, 16 червня 2022 р. Суми, 2022. С. 116–118. URL: <https://surl.li/qondma>.
84. Науково-практичний довідник по обґрунтуванню поелементних нормативів трудових, грошово-матеріальних та енергетичних витрат на виробництво зернових культур / Черенков А. В. та ін. ; за ред. А. В. Черенкова та В. С. Рибки. Дніпропетровськ : ДУ Інститут сільського господарства Степової зони НААН України, 2014. 180 с.
85. Носов С. Особливості водоспоживання гібридів кукурудзи різних груп стиглості залежно від строків сівби в Північній підзоні Степу

України. Вісник Львівського національного аграрного університету. Агрономія. 2014. № 18. С. 210–217. URL: <https://surl.li/qzuyry>.

86. Павліченко К. В., Грабовський М. Б. Формування біометричних показників та накопичення сировини надземної маси гібридами кукурудзи під впливом макро- і мікродобрив. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2022. № 123. С. 98–111. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.123.14>.
87. Паламарчук В. Д., Віннік О. В., Коваленко О. А. Вміст крохмалю у зерні кукурудзи та вихід біоетанолу залежно від умов вегетації та факторів технології вирощування. *Аграрні інновації*. 2021. № 5. С. 143–156. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2021.5.23>.
88. Паламарчук В. Д., Демчук Б. С. Роль позакоренових підживлень у сучасних технологіях вирощування зернової кукурудзи. *Сільське господарство та лісівництво*. 2021. № 20. С. 60–76. URL: <https://surl.li/oglivz>.
89. Паламарчук В. Д., Дідур І. М., Колісник О. М., Алексєєв О. О. Аспекти сучасної технології вирощування висококрохмальної кукурудзи в умовах Лісостепу Правобережного : монографія. Вінниця : Друк, 2020. 536 с. URL: <https://surl.li/zaccpl>.
90. Паламарчук В. Д., Колісник О. М. Сучасна технологія вирощування кукурудзи для енергоефективного та екологічнобезпечного розвитку сільських територій. Вінниця : Друкарня «Друк», 2022. 376 с. URL: <https://surl.li/jdqaho>.
91. Паламарчук В. Д., Рудська Н. О., Борисов В. В. Вплив густоти рослин на формування морфологічних ознак у гібридів кукурудзи. *Сільське господарство та лісівництво*. 2024. № 3 (34). С. 44–54. DOI: <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2024-3-5>.
92. Паламарчук В. Д., Соломон А. М. Дослідження формування площі асиміляційної поверхні у кукурудзи залежно від позакоренових

- підживлень. *Корми і кормовиробництво*. 2021. Вип. 92. С. 82–94. DOI: <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202192-08>.
93. Пащенко Р. Е., Марюшко М. В. Оцінка швидкості процесу фотосинтезу рослин з нечітким описом факторів впливу та показників. *Сучасні інформаційні системи*. 2021. Т. 5, № 3. С. 31–39. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2021.3.05>.
94. Писаренко В. М., Писаренко П. В., Писаренко В. В., Горб О. О., Чайка Т. О. Посухи в контексті змін клімату України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2019. № 1. С. 134–146. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2019.01.18>.
95. Писаренко В., Лукьяненко Г., Антоненко А., Писаренко П., Писаренко В. Зміна клімату: технологічні аспекти систем землеробства. *Зерно*. 2020. URL: <https://surli.cc/rlxzpm>.
96. Писаренко П. В., Біляєва І. М., Пілярський В. Г., Пілярська О. О. Фотосинтетичний потенціал рослин кукурудзи залежно від умов вирощування. *Миронівський вісник*. 2015. № 1. С. 243–251. URL: <https://surl.li/lsfngs>.
97. Плічко Г. Кукурудза завжди буде затребувана! *Зерно*. 2024. № 1. URL: <https://surli.cc/hqojpn>.
98. Поліщук В. Економіко-технологічне стимулювання природозбереження. *Науковий вісник Вінницької академії безперервної освіти. Серія «Екологія. Публічне управління та адміністрування»*. 2022. № 1. С. 16–25. DOI: <https://doi.org/10.32782/2786-5681-2022-1.03>.
99. Полупан М. І., Соловей В. Б., Величко В. А. Класифікація ґрунтів України. Київ : Аграрна наука, 2005. 300 с. URL: <https://surl.li/xkncqw>.
100. Приседський Ю. Г., Лихолат Ю. В. Адаптація рослин до антропогенних чинників : підручник для студентів спеціальностей біологія, екологія та середня освіта вищих навчальних закладів. Вінниця : ТОВ «Нілан-ЛТД», 2017. 98 с. URL: <https://surl.lu/myaico>.

101. Процик І. С., Безе А. О. Світові тенденції розвитку ринку пшениці та кукурудзи і визначення місця України на ньому. *Менеджмент та підприємництво в Україні: етапи становлення та проблеми розвитку*. 2022. № 2 (8). С. 414–426. URL: <https://surl.li/bopder>.
102. Пустовий С. І., Якунін О. П., Дудка М. І. Агроекономічна ефективність вирощування зерна гібридів кукурудзи залежно від попередника і мінерального удобрення. *Таврійський науковий вісник*. 2021. № 117. С. 142–148. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.117.19>.
103. Ратушний Б. В. Досвід США у застосуванні технологій точного землеробства в аграрному секторі. *Актуальні проблеми розвитку економіки регіону*. 2025. Вип. 21. Т. 2. С. 23–37. DOI: <https://doi.org/10.15330/apred.2.21.23-37>.
104. Репілевський Д. Е., Іванів М. О. Економічна та енергетична оцінка вирощування гібридів кукурудзи різних груп ФАО залежно від способів зрошення в умовах Південного Степу України. *Таврійський науковий вісник*. 2021. № 120. С. 131–140. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.120.18>.
105. Рябчун Н. Фотосинтез та врожайність зернових культур. *Пропозиція*. 2013. № 3. С. 1–4. URL: <https://surl.li/oieyfy>.
106. Сало Л., Бардиш А. Адаптація елементів технології вирощування кукурудзи до кліматичних змін в Північному Степу України. *Сучасні технології агропромислового виробництва* : матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції, 14–15 листопада 2024 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2024. С. 289–290. URL: <https://surl.li/wpkwpx>.
107. Сидякіна О. В., Гамула Є. А. Мікродобрива у технологіях вирощування кукурудзи як елемент екологоорієнтованого та ресурсозберігаючого землеробства. *Продовольча безпека України в умовах післявоєнного відновлення: глобальні та національні виміри. Міжнародний форум* : доповіді учасників міжнародної науково-практичної конференції, 28–

30 травня 2025 р. Миколаїв : МНАУ, 2025. С. 166–169. DOI: <https://doi.org/10.31521/978-617-7149-86-5-54>.

108. Сидякіна О. В., Гамула Є. А. Обґрунтований добір гібридів – запорука отримання високих і сталих урожаїв кукурудзи. *Наукові основи реалізації принципів кліматично орієнтованого сільського господарства в агросфері України* : збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції молодих з нагоди Дня науки в Україні, 17 травня 2024 р. Одеса : Олді+, 2024. С. 95–96. URL: <http://dspace.ksaeu.kherson.ua/handle/123456789/9613>.
109. Сидякіна О. В., Гамула Є. А. Сучасний стан, проблеми та перспективи виробництва зерна кукурудзи. *Таврійський науковий вісник. Серія Сільськогосподарські науки*. 2025. № 144. С. 164–174. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.144.22>.
110. Сидякіна О. В., Гамула Є. О. Інтегрована система захисту кукурудзи від стеблового метелика в умовах Північного Степу України. *Ефективні системи захисту рослин як інструмент сталого розвитку аграрного сектору економіки та суспільства* : матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої Дню науки в Україні, 16 травня 2025 р. Херсон – Кропивницький: ХДАЕУ, 2025. С. 52–56. URL: <http://dspace.ksaeu.kherson.ua/handle/123456789/10850>.
111. Сидякіна О. В., Іванів М. О. Вплив фону мінерального живлення та стимулятора росту Зеастимулін на продуктивність зерна кукурудзи в умовах зрошення Півдня України. *Інтеграція освіти, науки та бізнесу в сучасному середовищі: зимові диспути* : тези доповідей I Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 6–7 лютого 2020 р. Дніпро, 2020. Т. 3. С. 177–183. URL: <https://surl.lt/visdnr>.
112. Сидякіна О. В., Іванів М. О. Формування врожайності та якості зерна кукурудзи за дії мінеральних добрив та регулятора росту Зеастимулін. *Eurasian scientific congress : abstracts of the 2nd International scientific and practical conference*. Barcelona, Spain : Barca Academy Publishing, 2020. Р. 31–35. URL: <https://surl.li/mhmmaf>.

113. Сидякіна О. В., Іванів О. О. Сучасний стан і перспективи виробництва зерна кукурудзи. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2023. № 130. С. 225–234. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2023.130.33>.
114. Сидякіна О. В., Мелешко І. О. Використання рістстимулюючих речовин у технології вирощування кукурудзи на зерно. *Перспективні напрями та інноваційні досягнення аграрної науки* : матеріали II Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції, присвяченої видатному вченому, викладачу, організатору сільськогосподарського виробництва, засновнику Херсонського земського сільськогосподарського училища, кандидату сільського господарства і лісівництва К. І. Тархову, 22 травня 2020 р. Херсон : ДВНЗ «ХДАУ», 2020. С. 71–73. URL: <https://surl.lt/ohafik>.
115. Сидякіна О. В., Мелешко І. О. Ефективність застосування мінеральних добрив у посівах кукурудзи на зерно (огляд літератури). *Таврійський науковий вісник*. 2022. Вип. 128. С. 196–203. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.128.27>.
116. Скакун О. О., Марченко Т. Ю., Пілярська О. О. Інноваційні гібриди кукурудзи для умов зрошення. *Гончарівські читання* : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 94-річчю з дня народження доктора сільськогосподарських наук, професора Гончарова Миколи Дем'яновича, 25 травня 2023 р. Суми, 2023. С. 50–51. URL: <https://surl.lu/cengue>.
117. Солов'яненко Н. Ґрунтовий покрив – складова природних ресурсів України. *Землевпорядний вісник*. 2012. № 2. С. 44–48. URL: <https://surl.lu/lvsqdf>.
118. Стасик О. О., Кірізій Д. А., Прядкіна Г. О. Фотосинтез і продуктивність: основні наукові досягнення та інноваційні розробки. *Фізіологія рослин і генетика*. 2021. Т. 53, № 2. С. 160–184. DOI: <https://doi.org/10.15407/frg2021.02.160>.

119. Степаненко М. В., Грабовський М. Б. Вплив системи удобрення на лінійні розміри рослин кукурудзи. *Аграрні інновації*. 2023. № 21. С. 104–109. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.21.16>.
120. Тараріко Ю. О., Сорока Ю. В., Сайдак Р. В. Зміна клімату та економічна ефективність сільськогосподарського виробництва в зоні Степу. *Меліорація земель та управління водними ресурсами*. Інститут водних проблем та меліорації земель Національної академії аграрних наук України, 2020. С. 119–125. URL: <https://surl.li/yikklp>.
121. Терещенко А. В., Дробітько А. В. Вплив технології вирощування на розвиток хвороб гібридів кукурудзи в умовах північного Степу України. *Аграрні інновації*. 2024. № 27. С. 189–195. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.27.29>.
122. Тонха О. Л., Балаєв А. Д., Вітвіцький С. В. Біологічна активність і гумусний стан чорноземів Лісостепу і Степу України : монографія. Київ : НУБіП України, 2017. 357 с. URL: <https://surl.li/xxkqcz>.
123. Тютченко С. М. Практикум з навчальної дисципліни «Статистика» : навчально-методичний посібник. Дніпро : Дніпроп. держ. ун-т внутр. справ. 2022. 52 с. URL: <https://surl.li/ubtkfm>.
124. Тютюнник В. В., Соболев О. М., Тютюнник О. О., Ященко О. А. Х. Природні та техногенні загрози : підручник. Друкарня Мадрид, 2023. 480 с. URL: <https://surl.li/wjsaqe>.
125. Хотиненко О. М. Ґрунти, їх класифікація і номенклатура. Миколаїв : МНАУ, 2015. 86 с. URL: <https://surl.li/xsqwdh>.
126. Цехмейструк М. Г., Музафаров Н. М., Манько К. М. Аспекти вирощування кукурудзи. *Агрономія Сьогодні*. 2014. URL: <https://agro-business.com.ua/>.
127. Циганський В. І., Машенко В. В. Формування продуктивності кукурудзи залежно від оптимізації системи удобрення. *Сільське господарство та лісівництво*. 2024. № 1 (32). С. 27–39. DOI: <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2024-1-3>.

128. Циков В. С., Дудка М. І., Шевченко О. М., Носов С. С. Ефективність застосування макро-і мікродобрих при вирощуванні кукурудзи. *Зернові культури*. 2017. Т. 1, № 1. С. 75–79. URL: <https://surl.li/qjietq>.
129. Циліорик О. І., Тищенко В. О. Вплив густоти стояння рослин та рівня мінерального живлення на уміст хлорофілу в листках кукурудзи. *Аграрні інновації*. 2024. № 27. С. 133–139. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.27.20>.
130. Циліорик О. І., Тищенко В. О. Реакція гібридів кукурудзи різних груп стиглості на густоту стояння рослин та рівень мінерального живлення в умовах Північного Степу. *Інноваційні засади управління землями сільськогосподарського призначення в контексті забезпечення продовольчої безпеки держави* : матеріали Міжнародної наукової конференції, 24 жовтня 2024 р. Київ : ННЦ «ІАЕ», 2024. С. 103–107. URL: <https://surl.li/lupmyf>.
131. Чабан В. І., Подобед О. Ю. Родючість чорнозему звичайного за тривалого інтенсивного використання в сівозміні. *Наукові читання до 100-річчя від дня народження Філіп'єва Івана Давидовича – видатного вченого у галузі агрохімії та ґрунтознавства* : збірник матеріалів науково-практичної конференції, присвяченої пам'яті доктора с.-г. наук, професора, Заслуженого діяча науки і техніки України, Філіп'єва Івана Давидовича, 20 вересня 2024 р. Одеса, 2024. С. 136–138. URL: <https://surl.lu/mhoihc>.
132. Чорний С. Г. Часткове ґрунтознавство. Миколаїв : МНАУ, 2017. 82 с. URL: <https://surl.li/ifpfyf>.
133. Швець О. М. Генезис та комплексна діагностика чорноземних ґрунтів Лісостепу України. *Аграрні інновації*. 2022. № 15. С. 67–72. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.15.10>.
134. Шейдик К. А., Савіна О. І., Вантюх О. М. Програмування і прогнозування врожаю плодових, ягідних рослин і винограду : навчально-методичний посібник. Ужгород, 2023. 85 с. URL: <https://surl.li/puwohy>.

135. Шульц П. Вплив густоти висіву кукурудзи на урожайність. *Агроном*. 2022. URL: <https://surl.li/fxyexz>.
136. Шумигай І. В., Дементьєва О. І. Вирощування гібридів кукурудзи на Півдні України в умовах зрошення. *Агроекологічний журнал*. 2014. № 2. С. 74–78. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/agrog_2014_2_16.
137. Юрченко А. А., Миронова І. Г. Ґрунтознавство : навчальний посібник. Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2022. 225 с. URL: <https://surl.li/lfddgf>.
138. Abid M., Batool T., Siddique G., Ali S., Binyamin R., Shahid M. J., Rizwan M., Alsahli A. A., Alyemeni M. N. Integrated Nutrient Management Enhances Soil Quality and Crop Productivity in Maize-Based Cropping System. *Sustainability*. 2020. Vol. 12 (23). P. 10214. DOI: <https://doi.org/10.3390/su122310214>.
139. Adey E., Roozeboom K., Balboa G. R., Schlegel A., Ciampitti I. A. Drought-tolerant corn hybrids yield more in drought-stressed environments with no penalty in non-stressed environments. *Frontiers in Plant Science*. 2016. Vol. 7. P. 1534. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01534>.
140. Afrida E., Saragih M., Rahman A. Nutrient Omission Techniques of Macro- and Micro-Nutrients as a Basis for Determining Biomass and Yield of Maize Plants. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*. 2024. Vol. 55 (7). P. 67–77. DOI: <https://doi.org/10.62321/issn.1000-1298.2024.07.06>.
141. Ali Q., Yaseen M. R., Anwar S., Makhadmeh M. S. A., Khan M. T. I. The impact of tourism, renewable energy, and economic growth on ecological footprint and natural resources: A panel data analysis. *Resources Policy*. 2021. Vol. 74. P. 102365. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102365>.
142. Andrade F. H., Calviño P., Cirilo A., Barbieri P. Yield Responses to Narrow Rows Depend on Increased Radiation Interception. *Agronomy Journal*. 2002. Vol. 94. P. 975–980. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2002.9750>.
143. Anitha K. V., Kadalli G. G. Effect of soil and foliar application of micronutrients mixture on economics of maize (*Zea mays*) in Alfisols. *Journal*

- of *Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2019. Vol. 8 (6). P. 306–310. URL: <https://surl.li/hvzkgf>.
144. Aref F. Manganese, iron and copper contents in leaves of maize plants (*Zea mays* L.) grown with different boron and zinc micronutrients. *African Journal of Biotechnology*. 2012. Vol. 11 (4). P. 896–903. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJB11.165>.
 145. Assaf J. C., Mortada Z., Rezzoug S.-A., Maache-Rezzoug Z., Debs E., Louka N. Comparative Review on the Production and Purification of Bioethanol from Biomass: A Focus on Corn. *Processes*. 2024. Vol. 12 (5). P. 1001. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr12051001>.
 146. Balogh J. M., Jámboor A. The environmental impacts of agricultural trade: A systematic literature review. *Sustainability*. 2020. Vol. 12 (3). P. 1152. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12031152>.
 147. Barbosa R. H., Tabaldi L. A., Miyazaki F. R., Pilecco M., Kassab S. O., Bigaton D. Foliar copper uptake by maize plants: effects on growth and yield. *Ciência Rural, Santa Maria*. 2013. Vol. 43 (9). P. 1561–1568. URL: <https://surl.li/zkfxed>.
 148. Bassu S., Motzo R., Bertulu M. C., Giunta F. Narrow rows increase maize grain yield regardless of plant density in a Mediterranean environment. *The Journal of Agricultural Science*. 2024. Vol. 162 (4). P. 354–362. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859624000583>.
 149. Baye W., Xie Q., Xie P. Genetic Architecture of Grain Yield-Related Traits in Sorghum and Maize. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022. Vol. 23 (5). P. 2405. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms23052405>.
 150. Bhandari M., Regmi N. R., Sahani H. K., Sherpa P. Integrated nutrient management in maize production – a review. *Reviews In Food And Agriculture*. 2021. Vol. 2 (1). P. 27–30. DOI: <http://dx.doi.org/10.26480/rfna.01.2021.27.30>.
 151. Boomsma C. R., Santini J. B., Tollenaar M., Vyn T. J. Maize Morphophysiological Responses to Intense Crowding and Low Nitrogen

- Availability: An Analysis and Review. *Agronomy Journal*. 2009. Vol. 101 (6). P. 1426–1452. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2009.0082>.
152. Boyer J. S., Westgate M. E. Grain yields with limited water. *Journal of Experimental Botany*. 2004. Vol. 55 (407). P. 2385–2394. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erh219>.
 153. Buka S., Tkachuk V., Kondratiuk V., Tonkha O., Slobodyanyuk N. Prospects for agribusiness in Ukraine over the next 5 years. *International Journal of Environmental Studies*. 2023. Vol. 80 (2). DOI: <https://doi.org/10.1080/00207233.2022.2157630>.
 154. Busch F. A., Ainsworth E. A., Amtmann A., Cavanagh A. P., Driever S. M., Ferguson J. N., Kromdijk J., Lawson T., Leakey A. D. B., Matthews J. S. A., Meacham-Hensold K., Vath R. L., Vialet-Chabrand S., Walker B. J., Papanatsiou M. A guide to photosynthetic gas exchange measurements: Fundamental principles, best practice and potential pitfalls. *Plant, Cell & Environment*. 2024. Vol. 47 (9). P. 1–21. DOI: <https://doi.org/10.1111/pce.14815>.
 155. Chen S., Lin B., Li Y., Zhou S. Spatial and temporal changes of soil properties and soil fertility evaluation in a large grain-production area of subtropical plain, China. *Geoderma*. 2020. Vol. 357. P. 113937. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.113937>.
 156. Ciampitti I. A., Vyn T. J. A comprehensive study of plant density consequences on nitrogen uptake dynamics of maize plants from vegetative to reproductive stages. *Field Crops Research*. 2011. Vol. 121 (1). P. 2–18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.10.009>.
 157. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, 2022. URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>.
 158. Congjuan L., Abulimiti M., Jinglong F., Haifeng W. Ecologic service, economic benefits, and sustainability of the man-made ecosystem in the Taklamakan desert. *Frontiers in Environmental Science*. 2022. Vol. 10. P. 813932. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.813932>.

159. Correndo A. A., Fernandez J. A., Vara Prasad P. V., Ciampitti I. A. Do Water and Nitrogen Management Practices Impact Grain Quality in Maize? *Agronomy*. 2021. Vol. 11 (9). P. 1851. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11091851>.
160. Crop monitoring in Europe: Ukraine. *Joint Research Centre (JRC) MARS Bulletin*. 2023. Vol. 31 (9). 50 p. URL: <https://mars.jrc.ec.europa.eu>.
161. Deckers J., Gerasimova M., Kabala C., Kravchenko Y., Nachtergaele F. Chernozems Lecture Notes. WRB Documentation Centre. IUSS WRB Working Group webpage and KU-Leuven soil monolith webpage, 2024. URL: <https://surl.li/bvnmkn>.
162. Demyanyuk O., Matusevich G., Mazur S., Shatsman D., Bukhtyk S., Posunko A. Wheat, corn, and sunflower are the primary crops of Ukrainian exports. *Agriculture and Plant Sciences: Theory and Practice*. 2023. Vol. 4. P. 41–50. DOI: <https://doi.org/10.54651/agri.2023.04.05>.
163. Djalovic I., Prasad P. V. V., Dunderski D., Katanski S., Latković D., Kolarić L. Optimal Plant Density Is Key for Maximizing Maize Yield in Calcareous Soil of the South Pannonian Basin. *Plants*. 2024. Vol. 13 (13). P. 1799. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants13131799>.
164. Djaman K., Allen S., Djaman D. S., Koudahe K., Irmak S., Puppala N., Darapuneni M. K., Angadi S. V. Planting date and plant density effects on maize growth, yield and water use efficiency. *Environmental Challenges*. 2022. Vol. 6. P. 100417. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100417>.
165. Drulis P., Kriauciūnienė Z., Liakas V. The Influence of Different Nitrogen Fertilizer Rates, Urease Inhibitors and Biological Preparations on Maize Grain Yield and Yield Structure Elements. *Agronomy*. 2022. Vol. 12 (3). P. 741. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12030741>.
166. Duvvada S. K., Banerjee M., Saren B., Malik G. C. Correlation Studies on Growth, Yield Parameters and Yield of Maize as Influenced by Conservation Tillage Practices and Site-Specific Nutrient Management in Maize (*Zea mays* L.). *Environment and Ecology*. Vol. 42 (2A). P. 579–583. DOI: <https://doi.org/10.60151/envec/XNJK3693>.

167. Erenstein O., Jaleta M., Sonder K., Mottaleb K., Prasanna B. M. Global maize production, consumption and trade: trends and R&D implications. *Food Security*. 2022. Vol. 14. P. 1295–1319. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12571-022-01288-7>.
168. Eswaran H., Reich P. F. World soil map. Encyclopedia of Soils in the Environment. *Journals & Books*. 2005. P. 352–365. URL: <https://surl.li/kzueee>.
169. Fathallah K., Abid M. A., Ben Hadj-Alouane N. Enhancing energy saving in smart farming through aggregation and partition aware IoT routing protocol. *Sensors*. 2020. Vol. 20 (10). P. 2760. DOI: <https://doi.org/10.3390/s20102760>.
170. Feng X. Z. Genetic and environmental factors influencing grain quality in maize. *Maize Genomics and Genetics*. 2024. Vol. 15 (2). P. 93–101. DOI: <https://doi.org/10.5376/mgg.2024.15.0010>.
171. Ferreira C. S., Seifollahi-Aghmiuni S., Destouni G., Ghajarnia N., Kalantari Z. Soil degradation in the European Mediterranean region: Processes, status and consequences. *Science of the Total Environment*. 2022. Vol. 805. P. 150106. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150106>.
172. Genetic gains in short-season corn hybrids: Grain yield, yield components, and grain quality traits / K. King et al. *Crop Science*. 2024. Vol. 64 (2). P. 710–725. DOI: <https://doi.org/10.1002/csc2.21199>.
173. Ghaffari A., Ali A., Tahir M., Waseem M., Ayub M., Iqbal A., Mohsin A. U. Influence of Integrated Nutrients on Growth, Yield and Quality of Maize (*Zea mays* L.). *American Journal of Plant Sciences*. 2011. Vol. 2. P. 63–69. DOI: <https://www.doi.org/10.4236/ajps.2011.21009>.
174. Guo J., Qu L., Hu Y., Lu W., Lu D. Proteomics reveals the effects of drought stress on the kernel development and starch formation of waxy maize. *BMC Plant Biol*. 2021. Vol. 21. P. 434. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-021-03214-z>.
175. Haarhoff S. J., Swanepoel P. A. Plant Population and Row Spacing Affects Growth and Yield of Rainfed Maize in Semi-arid Environments. *Frontiers in*

Plant Science. 2022. Vol. 13. P. 761121.
DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.761121>.

176. Hara P., Piekutowska M., Niedbała G. Selection of Independent Variables for Crop Yield Prediction Using Artificial Neural Network Models with Remote Sensing Data. *Land*. 2021. Vol. 10 (6). P. 609. DOI: <https://doi.org/10.3390/land10060609>.
177. Harthoorn A., Walters C. The Economics of Corn and Soybean Harvest Moisture. *Center for Agricultural Profitability*. 2022. URL: <https://surl.li/evuwvq>.
178. Hashemi A. M., Herbert S. J., Putnam D. H. Yield Response of Corn to Crowding Stress. *Agronomy journal*. Vol. 97 (3). P. 839–846. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2003.0241>.
179. Hayes M. H., Swift R. S. Vindication of humic substances as a key component of organic matter in soil and water. *Advances in Agronomy*. 2020. Vol. 163. P. 1–37. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2020.05.001>.
180. Hou J. M., Luo N., Wang S., Meng Q. F., Wang P. Effects of Increasing Planting Density on Grain Yield, Leaf Area Index and Photosynthetic Rate of Maize in China. *Scientia Agricultura Sinica*. 2021. Vol. 54 (12). P. 2538–2546. DOI: <https://doi.org/10.3864/j.issn.0578-1752.2021.12.005>.
181. Huang F., Liu Z., Zhang P., Jia Z. Hydrothermal effects on maize productivity with different planting patterns in a rainfed farmland area. *Soil and Tillage Research*. 2021. Vol. 205. P. 104794. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104794>.
182. Huang C., Qin A., Gao Ya., Ma S., Liu Z., Zhao B., Ning D., Zhang K., Gong W., Sun M., Liu Z. Effects of water deficit at different stages on growth and ear quality of waxy maize. *Frontiers in Plant Science*. 2023. Vol. 14. P. 1069551. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1069551>.
183. Ivaniv M., Sydiakina O., Hamula Ye. Net photosynthetic productivity of maize hybrids depending on plant density and micronutrients. *Innovative Research in Science and Economy : Collection of Scientific Papers with Proceedings of the*

1st International Scientific and Practical Conference. International Scientific Unity. July 30 – August 1, 2025. Brussels, Belgium, 2025. P. 25–29. DOI: <https://doi.org/10.70286/ISU-30.07.2025>.

184. Ivaniv M., Sydiakina O., Hamula Ye. Formation of maize grain oil content depending on technological elements and variable agro-climatic conditions. *Journal of Ecological Engineering*. 2026. Vol. 27 (1). P. 129–137. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/209687>.
185. Jarecki W., Borza I. M., Rosan C. A., Domuța C. G., Vicas S. I. The Effect of Foliar Micronutrient Fertilization on Yield and Nutritional Quality of Maize Grain. *Agronomy*. 2025. Vol. 15 (8). P. 1859. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy15081859>.
186. Jiang Y., Wei H., Hou S., Yin X., Wei S., Jiang D. Estimation of Maize Yield and Protein Content under Different Density and N Rate Conditions Based on UAV Multi-Spectral Images. *Agronomy*. 2023. Vol. 13 (2). P. 421. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13020421>.
187. Jiao Ya., Chen H.-D., Han H., Chang Yi. Development and Utilization of Corn Processing by-Products: A Review. *Foods*. 2022. Vol. 11 (22). P. 3709. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11223709>.
188. Jukić Ž., Mason S., Babić M., Vitazek I., Pliestic S., Srećec S., Kovačev I., Habuš M. Factors influencing maize kernel breakage – a review. *Journal of Central European Agriculture*. 2024. Vol. 25 (2). P. 401–415. DOI: <https://doi.org/10.5513/JCEA01/25.2.4250>.
189. Karabayev K. B., Suleimenov B. U., Smanov A. Z. H., Hakatayeva A. N., Ustemirova A. M., Zhassybayeva G. D., Dutbayev A. O. Growth and productivity of porumben corn hybrids with the application of BioEcoGum in Southeast Kazakhstan. *SABRAO J. Breed. Genet.* 2024. Vol. 56 (2). P. 673–680. DOI: <http://doi.org/10.54910/sabrao2024.56.2.19>.
190. Kathirvelan P., Vaishnavi S., Manivannan V., Djanaguiraman M., Thiyageshwari S., Parasuraman P., Kalarani M. K. Response of Maize (*Zea mays* L.) to Foliar-Applied Nanoparticles of Zinc Oxide and Manganese Oxide

- Under Drought Stress. *Plants*. 2025. Vol. 14 (5). P. 732. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants14050732>.
191. Kovalov M., Reznichenko V. Anthropogenic evolution of morphological features of chernozems. *Agricultural sciences*. Publishing House «Baltija Publishing», 2019. P. 86–107. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-15-0-132>.
192. Kravchenko Yu., Matviiv G. Genesis, Properties and Amendment of Podzolised Chernozems from the West Forest-Steppe of Ukraine. *Soil Science and Agrochemistry*. 2016. URL: <https://surl.li/yhjfrw>.
193. Kumar N., Salakinkop S. R. Agronomic Biofortification of Maize with Zinc and Iron Micronutrients. *Modern Concepts & Developments in Agronomy*. 2018. Vol. 1 (5). DOI: <https://doi.org/10.31031/MCDA.2018.01.000522>.
194. Kushnirenko O., Venger V., Valinkevych N., Hakhovych N., Bykonja O. Prospects for maize processing for the development of bioeconomy and decarbonisation in Ukraine. *Scientific Horizons*. 2024. Vol. 27 (7). P. 32–44. DOI: <https://doi.org/10.48077/scihor7.2024.32>.
195. Laekemariam F., Kibret K. Explaining soil fertility heterogeneity in smallholder farms of southern Ethiopia. *Applied and Environmental Soil Science*. 2020. Vol. 2020 (1). P. 6161059. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/6161059>.
196. Lai Z., Kou H., Fan J., Yang R., Xu X., Zhang F., Li S. Optimized Planting Density and Nitrogen Rate Increased Grain Yield and Water-Nitrogen Use Efficiency of Two Maize Cultivars under Mulched Drip Fertigation by Improving Population Photosynthesis and Grain-Filling Characteristics. *Water*. 2023. Vol. 15 (1). P. 163. DOI: <https://doi.org/10.3390/w15010163>.
197. Lei H., Zhou F., Cai Q., Wang X., Du L., Lan T., Kong F., Yuan J. Effects of Planting Density and Nitrogen Management on Light and Nitrogen Resource Utilization Efficiency and Yield of Summer Maize in the Sichuan Hilly Region. *Agronomy*. 2024. Vol. 14 (7). P. 1470. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy14071470>.

198. Lelei D. K., Sultan M. S., Kuboja N. M., Mwangi L. N., Sinclair F. Enhancing maize (*Zea mays*) productivity through integrated soil fertility management: a participatory approach in the degraded soils of Kigoma, Tanzania. *Frontiers in Agronomy*. 2025. Vol. 7. P. 1537292. DOI: <https://doi.org/10.3389/fagro.2025.1537292>.
199. Li G., Long H., Zhang R., Xu A., Niu L. Photosynthetic traits, water use and the yield of maize are influenced by soil water stability. *BMC Plant Biology*. 2024. Vol. 24. P.1235. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05942-4>.
200. Li R.-F., Liu P., Yang Q.-L., Ren H., Dong S.-T., Zhang J.-W., Zhao B. Effects of Lower Leaf Senescence on Carbon and Nitrogen Distribution and Yield Formation in Maize (*Zea mays* L.) with High Planting Density. *Acta Agronomica Sinica*. 2018. Vol. 44 (7). P. 1032–1042. DOI: <https://doi.org/10.3724/SP.J.1006.2018.01032>.
201. Li Y., Zhang P., Sheng W., Zhang Z., Rose R. J., Song Y. Securing maize reproductive success under drought stress by harnessing CO₂ fertilization for greater productivity. *Frontiers in Plant Science*. 2023. Vol. 14. P. 1221095. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1221095>.
202. Linkage mapping and genomic prediction of grain quality traits in tropical maize (*Zea mays* L.) / N. Ndlovu et al. *Genomics of Plants and the Phytoecosystem*. 2024. Vol. 15. DOI: <https://doi.org/10.3389/fgene.2024.1353289>.
203. Liu D., Jia Q., Li J., Zhang P., Ren X., Jia Z. Increased photosynthesis and grain yields in maize grown with less irrigation water combined with density adjustment in semiarid regions. *PeerJ*. 2020. Vol. 8. P. 9959. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.9959>.
204. Liu G., Yang Yu., Guo X., Liu W., Xie R., Ming B., Xue J., Wang K., Li S., Hou P. Coordinating maize source and sink relationship to achieve yield potential of 22.5 Mg ha⁻¹. *Field Crops Research*. 2022. Vol. 283. P. 108544. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108544>.

205. Liu J., Van Iersel M. W. Photosynthetic physiology of blue, green, and red light: Light intensity effects and underlying mechanisms. *Frontiers in plant science*. 2021. Vol. 12. P. 619987. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.619987>.
206. Liu J., Wang H., Rahman S., Sriboonchitta S. Energy efficiency, energy conservation and determinants in the agricultural sector in emerging economies. *Agriculture*. 2021. Vol. 11, № 8. P. 773. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture11080773>.
207. Liu P., Zhang T., Zhang F., Ren X., Chen X., Zhao X. Ridge and furrow configuration improved grain yield by optimizing the soil hydrothermal environment and maize canopy traits in Northwest China. *Plant and Soil*. 2024. Vol. 499 (1). P. 23–36. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-022-05518-x>.
208. Liu Z., Wei S., Li M., Zhang Q., Zong R., Li Q. Response of Water Radiation Utilization of Summer Maize to Planting Density and Genotypes in the North China Plain. *Agronomy*. 2023. Vol. 13 (1). P. 68. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13010068>.
209. Ljubičić N., Popović V., Kostić M., Pajić M., Buđen M., Gligorević K., Dražić M., Bižić M., Crnojević V. Multivariate Interaction Analysis of *Zea mays* L. Genotypes Growth Productivity in Different Environmental Conditions. *Plants*. 2023. Vol. 12 (11). P. 2165. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12112165>.
210. Long Yu., Zeng Yo., Liu X., Yang Yu. Multivariate Analysis of Grain Yield and Main Agronomic Traits in Different Maize Hybrids Grown in Mountainous Areas. *Agriculture*. 2024. Vol. 14 (10). P. 1703. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture14101703>.
211. Maqbool M. A., Issa A. B., Khokhar E. S. Quality protein maize (QPM): Importance, genetics, timeline of different events, breeding strategies and varietal adoption. *Plant Breeding*. 2021. Vol. 140 (3). P. 375–399. DOI: <https://doi.org/10.1111/pbr.12923>.
212. Marchão R. L., Brasil E. M., Duarte J. B., Guimarães C. M., Gomes J. A. Densidade de plantas e características agronômicas de híbridos de milho sob espaçamento reduzido entre linhas plant density and agronomic traits of maize

- hybrids in narrow row spacing. *Pesquisa Agropecuaria Tropical*. 2005. Vol. 35 (2). P. 93–101. URL: <https://surl.li/gyrqsg>.
213. McGranahan D. A., Daigh A. L., Veenstra J. J., Engle D. M., Miller J. R., Debinski D. M. Connecting soil organic carbon and root biomass with land-use and vegetation in temperate grassland. *The Scientific World Journal*. 2014. Vol. 2014 (1). P. 487563. DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/487563>.
 214. McMillen M. S., Mahama A. A., Sibiya J., Lübberstedt T., Suza W. P. Improving drought tolerance in maize: Tools and techniques. *Frontiers in Genetics*. 2022. Vol. 13. P. 1001001. DOI: <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.1001001>.
 215. Mebratu A., Wegary D., Teklewold A., Tarekegne A. Testcross performance and combining ability of early-medium maturing quality protein maize inbred lines in Eastern and Southern Africa. *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14. P. 9151. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-58816-y>.
 216. Medina N., Vandermeer J. Developing systems theory in soil agroecology: incorporating heterogeneity and dynamic instability. *Frontiers in Environmental Science*. 2023. Vol. 11. P. 1171194. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1171194>.
 217. Meng L., Zhang J., Clarke N. A Critical Review of Recent Advances in Maize Stress Molecular Biology. *International Journal of Molecular Sciences*. 2024. Vol. 25 (22). P. 12383. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms252212383>.
 218. Moosavi S. G. The effect of water deficit stress and nitrogen fertilizer levels on morphology traits, yield and leaf area index in maize. *Pakistan Journal of Botany*. 2012. Vol. 44(4). P. 1351–1355. URL: <https://surl.li/vhjsjr>.
 219. Mubarak A. N. M., Mohammathu M. M. M., Kumara A. D. N. T. Will future maize improvement programs leverage the canopy light-interception, photosynthetic, and biomass capacities of traditional accessions? *PeerJ*. 2023. Vol. 11. P. 15233. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.15233>.
 220. Mutambu D., Kihara J., Mucheru-Muna M., Bolo P., Kinyua M. Maize grain yield and grain zinc concentration response to zinc fertilization: A meta-

- analysis. *Heliyon*. 2023. Vol. 9 (5). P. 16040. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16040>.
221. Nakashidze N. A., Kiknadze N. O., Alasania N. S., Jashi D. G., Lominadze S. The Concentration of Macro and Micro Elements in Open and Closed Ground Soils in the Territories of Adjara Region. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM*. 2020. Vol. 20 (5.1). P. 787–792. DOI: <https://doi.org/10.5593/sgem2020/5.1/s20.099>.
222. Nguemezi C., Tematio, P., Yemefack M., Tsozue D., Silatsa T. B. F. Soil quality and soil fertility status in major soil groups at the Tombel area, South-West Cameroon. *Heliyon*. 2020. Vol. 6 (2). P. 3432. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03432>.
223. Nielsen R. L. Drought and Heat Stress Effects on Corn Pollination. 2021. URL: <https://surl.li/xylyiw>.
224. Nikolov B., Petrova S., Velcheva I., Angelov N., Valcheva E., Zaprianova P., Hristozova G., Varbanova E., Georgieva D., Stefanova V. Macro and microelements content of urban soils from Plovdiv (Bulgaria). *Scientific Papers. Series A. Agronomy*. 2020. Vol. 63, №. 1. P. 104–111. URL: <https://surl.li/xkgbav>.
225. Nutritional and Chemical Quality of Maize Hybrids from Different FAO Maturity Groups Developed and Grown in Serbia / I. Djalovic et al. *Plants*. 2024. Vol. 13 (1). P. 143–158. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants13010143>.
226. Obeng-Bio E., Badu-Apraku B., Ifie B. E., Danquah A., Blay E. T., Annor B. Genetic analysis of grain yield and agronomic traits of early provitamin A quality protein maize inbred lines in contrasting environments. *Journal of Agricultural Science*. 2019. Vol. 157. P. 413–433. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859619000753>.
227. Official site of Food and Agriculture Organization of the United Nations : veb-sayt. URL: <https://www.fao.org/home/en>.
228. Okunlola G., Badu-Apraku B., Ariyo O., Ayo-Vaughan M. The combining ability of extra-early maturing quality protein maize (*Zea mays*) inbred lines and

- the performance of their hybrids in *Striga*-infested and low-nitrogen environments. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2023. Vol. 7. P. 1238874. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1238874>.
229. Okur B., Örçen N. Soil salinization and climate change. *Climate change and soil interactions*. Elsevier. 2020. P. 331–350. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818032-7.00012-6>.
230. Ondrasek G., Rengel Z. Environmental salinization processes: Detection, implications & solutions. *Science of the Total Environment*. 2021. Vol. 754. P. 142432. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142432>.
231. Owusu G. A., Ribeiro P. F., Abe A. Genetic analysis of grain yield and agronomic traits of quality protein maize inbred lines and their single-cross hybrids under drought stress and well-watered conditions. *Ecological Genetics and Genomics*. 2022. Vol. 22. P. 100105. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egg.2021.100105>.
232. Pagliacci F., Defrancesco E., Mozzato D., Bortolini L., Pezzuolo A., Pirotti F., Pisani E., Gatto P. Drivers of farmers' adoption and continuation of climate-smart agricultural practices. A study from northeastern Italy. *Science of the Total Environment*. 2020. Vol. 710. P. 136345. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136345>.
233. Paharvi H. N., Rafiyya L., Rashid S., Nisar B., Kamili A. N. Chemical fertilizers and their impact on soil health. *Microbiota and Biofertilizers*. 2021. Vol. 2: Ecofriendly tools for reclamation of degraded soil environs. P. 1–20. DOI: <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-61010-4>.
234. Pan B., Huang Ye., Gao X., Xu Q., Xin S., Liu Yo., Yue G., Cai R. Insights into Optimization of Planting Density and Fertilization in Maize. *Maize Genomics and Genetics*. 2025. Vol. 16 (1). URL: <https://surl.li/ppijwj>.
235. Paramesh V., Kumar R. M., Rajanna G. A., Gowda S., Nath A. J., Madival Ya. M., Jinger D., Bhat S., Toraskar S. Integrated nutrient management for improving crop yields, soil properties, and reducing greenhouse gas emissions. *Frontiers in*

- Sustainable Food Systems*. 2023. Vol. 7. P. 1173258. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1173258>.
236. Paz D. B., Henderson K., Loreau M. Agricultural land use and the sustainability of social-ecological systems. *Ecological modelling*. 2020. Vol. 437. P. 109312. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109312>.
237. Pilarski K., Pilarska A. A., Boniecki P., Niedbała G., Witaszek K., Piekutowska M., Idzior-Haufa M., Wawrzyniak A. Degree of Biomass Conversion in the Integrated Production of Bioethanol and Biogas. *Energies*. 2021. Vol. 14 (22). P. 7763. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14227763>.
238. Popa C., Călugăr R. E., Varga A., Muntean E., Băcilă I., Vana C. D., Racz I., Tritean N., Berindean I. V., Ona A. D., Muntean L. Evaluating Maize Hybrids for Yield, Stress Tolerance, and Carotenoid Content: Insights into Breeding for Climate Resilience. *Plants*. 2025. Vol. 14 (1). P. 138–157. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants14010138>.
239. Priya P., Ashoka P., Sarojani J. K., Guruprasad G. S. Effect of soil and foliar application of micro nutrients (Zn, Fe & B) on field performance of Maize (*Zea mays* L.) in Northern Karnataka. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2020. Vol. 9 (6). P. 467–470. URL: <https://surl.li/xznhfl>.
240. Qi J. H., Yan Q. S., Tasnim R., Zhang L., Fu P. L., Fan Z. X., Zhang Y. J. Coordination among water transport, photosynthesis and nutrition under climate change: stronger responses of a native than an invasive herb. *Water*. 2022. Vol. 14 (18). P. 2828. DOI: <https://doi.org/10.3390/w14182828>.
241. Rasheed A., Jie H., Ali B., He P., Zhao L., Ma Yu., Xing H., Qari S. H., Hassan M. U., Hamid M. R., Jie Yu. Breeding Drought-Tolerant Maize (*Zea mays*) Using Molecular Breeding Tools: Recent Advancements and Future Prospective. *Agronomy*. 2023. Vol. 13 (6). P. 1459. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13061459>.
242. Rasool T., Ahmad R., Farooq M. Seed Priming with Micronutrients for Improving the Quality and Yield of Hybrid Maize. *Gesunde Pflanzen*. 2019. Vol. 71. P. 37–44. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10343-018-00440-8>.

243. Ray K., Banerjee H., Dutta S., Hazra A. K., Majumdar K. Macronutrients influence yield and oil quality of hybrid maize (*Zea mays* L.). *PLoS One*. 2019. Vol. 14 (5). P. 0216939. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216939>.
244. Rizzo G., Monzon J. P., Tenorio F. A., Howard R., Cassman K. G., Grassini P. Climate and agronomy, not genetics, underpin recent maize yield gains in favorable environments. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*. 2022. Vol. 119 (4). P. 2113629119. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.2113629119>.
245. Rodrigues V. A., Crusciol C. A. C., Bossolani J. W., Moretti L. G., Portugal J. R., Mundt T. T., de Oliveira S. L., Garcia A., Calonego J. C., Lollato R. P. Magnesium Foliar Supplementation Increases Grain Yield of Soybean and Maize by Improving Photosynthetic Carbon Metabolism and Antioxidant Metabolism. *Plants*. 2021. Vol. 10 (4). P. 797. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants10040797>.
246. Safian N., Naderi M. R., Torabi M., Soleymani A., Salemi H. R. Corn (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) yield and nutritional quality affected by drought stress. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2022. Vol. 45. P. 102486. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102486>.
247. Saini H. S., Westgate M. E. Reproductive development in grain crops during drought. *Advances in Agronomy*. 1999. Vol. 68. P. 59–96. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60843-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60843-3).
248. Salika R., Riffat J. Abiotic stress responses in maize: a review. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2021. Vol. 43 (9). P. 130. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11738-021-03296-0>.
249. Sangoi L. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. *Crop Production*. 2001. Vol. 31 (1). DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782001000100027>.
250. Sary D. H., El-Aziz M. E. A. Synthesis and characterization of nano-micronutrient fertilizer and its effect on nutrient availability and maize (*Zea*

- Mays* L.) productivity in calcareous soils. *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15. P. 25838. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-11273-7>.
251. Semenova I., Slizhe M. Synoptic Conditions of Droughts and Dry Winds in the Black Sea Steppe Province Under Recent Decades. *Frontiers in Earth Science*. 2020. Vol. 8. P. 69. DOI: <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00069>.
252. Shah P., Khan A., Rahman H. U., Shah Z. Plant density and nitrogen effects on growth dynamics, light interception and yield of maize. *Agronomy and Soil Science*. 2008. Vol. 54 (4). P. 401–411. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/03650340801998623>.
253. Shawa H., van Biljon A., Labuschagne M. T. Protein quality and quantity of quality protein maize (QPM) and non-QPM hybrids under optimal and low nitrogen conditions. *Cereal Chemistry*. 2021. Vol. 98 (3). P. 507–516. DOI: <https://doi.org/10.1002/cche.10390>.
254. Sheoran S., Kaur Y., Kumar S., Shukla S., Rakshit S., Kumar R. Recent Advances for Drought Stress Tolerance in Maize (*Zea mays* L.): Present Status and Future Prospects. *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13. P. 872566. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.872566>.
255. Shynkaruk L., Lykhochvor V. Influence of fertilization and foliar feeding on maize grain qualitative indicators. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021. Vol. 11 (6). P. 113–116. DOI: https://doi.org/10.15421/2021_232.
256. Sibonginkosi N., Mzwandile M., Tana T. Effect of Plant Density on Growth and Yield of Maize [*Zea mays* (L.)] Hybrids at Luyengo, Middleveld of Eswatini. *Asian Plant Research Journal*. 2019. Vol. 3 (3–4). P. 2–19. DOI: <http://dx.doi.org/10.9734/aprj/2019/v3i3-430066>.
257. Simkin A. J., Lopez-Calcano R. E. Raines C. A. Feeding the world: improving photosynthetic efficiency for sustainable crop production. *Journal of Experimental Botany*. 2019. Vol. 70 (4). P. 1119–1140. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/ery445>.

258. Singh A. Soil salinization management for sustainable development: A review. *Journal of environmental management*. 2021. Vol. 277. P. 111383. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111383>.
259. Sitnicki M. W., Kurinskyi D., Pimenowa O., Wasilewski M., Wasilewska N. Strategic Formation of Agricultural Market Clusters in Ukraine: Emerging as a Global Player. *Sustainability*. 2024. Vol. 16 (21). P. 9430. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16219430>.
260. Song Yo., Rui Yu., Bedane G., Li J. Morphological Characteristics of Maize Canopy Development as Affected by Increased Plant Density. *PLoS One*. 2016. Vol. 11 (4). P. 0154084. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154084>.
261. Ssemugenze B., Ocwa A., Kuunya R., Gumisiriya C., Bojtor C., Nagy J., Széles A., Illés A. Enhancing Maize Production Through Timely Nutrient Supply: The Role of Foliar Fertiliser Application. *Agronomy*. 2025. Vol. 15 (1). P. 176. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy15010176>.
262. Stewart Z. P., Paparozzi E. T., Wortmann C. S., Jha P. K., Shapiro C. A. Effect of Foliar Micronutrients (B, Mn, Fe, Zn) on Maize Grain Yield, Micronutrient Recovery, Uptake, and Partitioning. *Plants*. 2021. Vol. 10 (3). P. 528. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants10030528>.
263. Strachan S. D. How Corn Plants Regulate Nutrient Uptake. *Pioneer*. 2021. URL: <https://surl.lu/yqobds>.
264. Sun S., Huang Z., Liu H., Xu J., Zheng X., Xue J., Li S. Response of Grain Yield to Planting Density and Maize Hybrid Selection in High Latitude China – A Multisource Data Analysis. *Agronomy*. 2023. Vol. 13 (5). P. 1333. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13051333>.
265. Sydiakina O. V., Hamula Ye. A. Current range of corn hybrids in Ukraine: analysis and prospects. *Таврійський науковий вісник. Серія Сільськогосподарські науки*. 2024. № 137. С. 205–213. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.137.26>.
266. Taj H., Noreen Z., Aslam M., Usman S., Shah A. A., Rafique M., Raja V., El-Sheikh M. A. Effects of SNP, MgSO₄, and MgO-NPs foliar application

- on *Spinacia oleracea* L. growth and physio-biochemical responses under cadmium stress. *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14. P. 26687. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-77221-z>.
267. Tajul M. I., Alam M. M., Hossain S. M. M., Naher K., Rafii M. Y., Latif M. A. Influence of Plant Population and Nitrogen-Fertilizer at Various Levels on Growth and Growth Efficiency of Maize. *Scientific World Journal*. 2013. Vol. 2013. P. 193018. DOI: <https://doi.org/10.1155/2013/193018>.
268. Tao K., Li Ya., Hu Yu., Li Yo., Zhang D., Li C., He G., Song Ya., Shi Yu., Li Yu., Wang T., Lu Yu., Liu X. Overexpression of *ZmEXPA5* reduces anthesis-silking interval and increases grain yield under drought and well-watered conditions in maize. *Molecular Breeding*. 2023. Vol. 43 (12). P. 84. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11032-023-01432-x>.
269. Tokatlidis I. S. Adapting maize crop to climate change. *Agronomy for Sustainable Development*. 2013. Vol. 33. P. 63–79. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-012-0108-7>.
270. Verbraeken L., Wuyts N., Mertens S., Cannoot B., Maleux K., Demuynck K., De Block J., Merchie J., Dhondt S., Bonaventure G., Crafts-Brandner S., Vogel J., Bruce W., Inzé D., Maere S., Nelissen H. Drought affects the rate and duration of organ growth but not inter-organ growth coordination. *Plant Physiology*. 2021. Vol. 186 (2). P. 1336–1353. DOI: <https://doi.org/10.1093/plphys/kiab155>.
271. Vikram N., Sagar A., Gangwar C., Husain R., Kewat R. N. Properties of humic acid substances and their effect in soil quality and plant health. *Humus and Humic Substances-Recent Advances*. *IntechOpen*. 2020. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.105803>.
272. Vysloužilová B., Ertlen D., Schwartz D., Šefrna L. Chernozem. From concept to classification: A review. *Auc geographica*. 2016. Vol. 51 (1). P. 85–95. DOI: <https://doi.org/10.14712/23361980.2016.8>.
273. Wang J., Zhen J., Hu W., Chen S., Lizaga I., Zeraatpisheh M., Yang X. Remote sensing of soil degradation: Progress and perspective. *International Soil and*

- Water Conservation Research*. 2023. Vol. 11 (3). P. 429–454. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.03.002>.
274. Wang F., Wang L., Yu X., Gao J., Ma D., Guo H., Zhao H. Effect of Planting Density on the Nutritional Quality of Grain in Representative High-Yielding Maize Varieties from Different Eras. *Agriculture*. 2023. Vol. 13 (9). P. 1835. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13091835>.
 275. Wu H.-Yu., Zhang Ya.-J., Zhang W.-F., Wang K.-R., Li S.-K., Jiang C.-D. Photosynthetic characteristics of senescent leaf induced by high planting density of maize at heading stage. *Acta Agronomica Sinica*. 2019. Vol. 45 (2). P. 248–255. DOI: <https://doi.org/10.3724/SP.J.1006.2019.83042>.
 276. Xiong D., Nadal M. Linking water relations and hydraulics with photosynthesis. *The Plant Journal*. 2020. Vol. 101 (4). P. 800–815. DOI: <https://doi.org/10.1111/tpj.14595>.
 277. Xue Ya.-F., Li X.-J., Yan W., Miao Q., Zhang C.-Ya., Huang M. H., Sun J.-B., Qi S.-J., Ding Z.-H., Cui Z.-L. Biofortification of different maize cultivars with zinc, iron and selenium by foliar fertilizer applications. *Frontiers in Plant Science*. 2023. Vol. 14. P. 1144514. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1144514>.
 278. Yan Ya., Duan F., Li X., Zhao R., Hou P., Zhao M., Li S., Wang Yo., Dai T., Zhou W. Photosynthetic capacity and assimilate transport of the lower canopy influence maize yield under high planting density. *Plant Physiol*. 2024. Vol. 195 (4). P. 2652–2667. DOI: <https://doi.org/10.1093/plphys/kiae204>.
 279. Yasin S., Zavala-García F., Niño-Medina G., Rodríguez-Salinas P. A., Gutiérrez-Diez A., Sinagawa-García S. R., Lugo-Cruz E. Morphological and Physiological Response of Maize (*Zea mays* L.) to Drought Stress during Reproductive Stage. *Agronomy*. 2024. Vol. 14 (8). P. 1718. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy14081718>.
 280. Ye D., Yu Z., Chen J., Wei S., Zhang Z., Huang S., Su D., Liu T., Muneer M. A. Foliar magnesium application improves sweet corn yield: boosting nutrient uptake and grain carbohydrate under dense planting condition. *Frontiers in*

- Plant Science*. 2025. Vol. 16. P. 1499391. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1499391>.
281. Ying Q. B., Chen Q., Lei K. Z., Liu H. Z. Case study: breeding maize varieties with high protein content. *Molecular Plant Breeding*. 2025. Vol. 16 (1). P. 93–104. DOI: <https://doi.org/10.5376/mpb.2025.16.0010>.
282. Yousaf M. I., Riaz M. W., Jiang Yu., Yasir M., Aslam M. Z., Hussain S., Shah S. A. S., Shehzad A., Riasat G., Manzoor M. A., Akhtar I. Concurrent effects of drought and heat stresses on physio-chemical attributes, antioxidant status and kernel quality traits in maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13. P. 898823. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.898823>.
283. Yruela I. Transition metals in plant photosynthesis. *Metallomics*. 2013. Vol. 5 (9). P. 1090–1109. DOI: <https://doi.org/10.1039/c3mt00086a>.
284. Zakharchenko E., Datsko O., Mishchenko Y., Melnyk A., Kriuchko L., Rieznik S., Hotvianska A. Efficiency of biofertilizers when growing corn for grain. *Modern Phytomorphology*. 2023. Vol. 17 (2). P. 50–56. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.2023-17-200117>.
285. Zakharchuk O., Hutorov A., Vyshnevetska O., Nitsenko V., Balezentis T., Streimikiene D. Ukraine's Market of Certified Seed: Current State and Prospects for the Future. *Agriculture*. 2023. Vol. 13 (1). P. 61. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13010061>.
286. Zhai L., Li H., Song S., Zhai L., Ming B., Li S., Xie R., Jia X., Zhang L. Intra-specific competition affects the density tolerance and grain yield of maize hybrids. *Agronomy Journal*. 2021. Vol. 113 (1). P. 224–235. DOI: <https://doi.org/10.1002/agj2.20438>.
287. Zhang D., Sun Z., Feng L., Bai W., Yang N., Zhang Z., Du G., Feng C., Cai Q., Wang Q., Zhang Yu., Wang R., Arshad A., Hao X., Sun M., Gao Z., Zhang L. Maize plant density affects yield, growth and source-sink relationship of crops in maize/peanut intercropping. *Field Crops Research*. 2020. Vol. 257. P. 107926. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107926>.

288. Zhang Y., Xu Z., Li J., Wang, R. Optimum Planting Density Improves Resource Use Efficiency and Yield Stability of Rainfed Maize in Semiarid Climate. *Frontiers in Plant Science*. 2021. Vol. 12. P. 752606. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.752606>.
289. Zhao J., Xue Q., Hao B., Marek T. H., Jessup K. E., Xu W., Bean B. W., Colaizzi P. D. Yield determination of maize hybrids under limited irrigation. *Journal of crop improvement*. 2019. Vol. 33 (3). P. 410–427. DOI: <https://doi.org/10.1080/15427528.2019.1606129>.
290. Zhao L., Duan X., Zhang X., Zhang X., Song L., Chen P., Liang M., Zhang C., Wang C. *Agronomy*. 2025. Vol. 15 (5). P. 1099. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy15051099>.
291. Zhou L., Jiang L. Impact of Integrated Agronomic Practices on Maize Yield and Nutrient Use Efficiency. *Field Crop*. 2024. Vol. 7 (2). P. 79–92. DOI: <https://doi.org/10.5376/fc.2024.07.0009>.
292. Ziska L. H. Rising carbon dioxide and global nutrition: evidence and action needed. *Plants*. 2022. Vol. 11 (7). P. 1000. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11071000>.

ДОДАТКИ

Додаток А.1

ФЕРМЕРСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО «ВИКО»

Україна, 74200, смт. Нововоронцовка, Бериславський район, Херсонська область
р/р UA433003350000000026004814245 в АТ «Райффайзен Банк»
ЄДРПОУ 39093312

Вих. № 18 від 28.10.2025 р.

ДОВІДКА

*про виробниче впровадження результатів наукового дослідження
Євгена ГАМУЛИ на тему «Удосконалення технології вирощування гібридів
кукурудзи на зерно марки ДЕКАЛБ в умовах Північного Степу України»*

Цією довідкою посвідчуємо, що результати наукового дослідження, викладені в дисертаційній роботі аспіранта кафедри рослинництва та агроінженерії Херсонського державного аграрно-економічного університету Євгена ГАМУЛИ на тему «Удосконалення технології вирощування гібридів кукурудзи на зерно марки ДЕКАЛБ в умовах Північного Степу України» були впроваджені у ФГ «ВИКО» (смт. Нововоронцовка Бериславського району Херсонської області) і характеризуються достатнім рівнем економічної ефективності.

У виробничих умовах господарства було впроваджено рекомендовані елементи технології вирощування кукурудзи, що включали добір гібридів марки ДЕКАЛБ (ДКС 4391, ДКС 4712, ДКС 5206), формування оптимальної густоти рослин (ДКС 4391 – 65 і 70 тис./га; ДКС 4712 – 60 і 65 тис./га; ДКС 5206 – 55, 60 і 65 тис./га), а також проведення двох позакоренових підживлень посівів мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза у нормі 0,75 кг/га у мікростадіях ВВСН 13–15 та ВВСН 17–19.

Площа виробничого посіву кукурудзи в агрономічному сезоні 2025 р. склала 7 га – по 1 га на кожну густоту стояння кожного гібриду. Виробничі випробування забезпечили такі результати:

1. Гібрид ДКС 4391 (ФАО 350), густота 65 тис. рослин/га (1 га). Урожайність зерна становила 4,52 т/га, рівень рентабельності виробництва – 50,2%.
2. Гібрид ДКС 4391 (ФАО 350), густота 70 тис. рослин/га (1 га). Урожайність зерна становила 4,34 т/га, рівень рентабельності виробництва – 47,5%.
3. Гібрид ДКС 4712 (ФАО 370), густота 60 тис. рослин/га (1 га). Урожайність зерна становила 4,43 т/га, рівень рентабельності виробництва – 48,2%.
4. Гібрид ДКС 4712 (ФАО 370), густота 65 тис. рослин/га (1 га). Урожайність зерна становила 4,26 т/га, рівень рентабельності виробництва – 45,5%.
5. Гібрид ДКС 5206 (ФАО 420), густота 55 тис. рослин/га (1 га). Урожайність зерна становила 4,20 т/га, рівень рентабельності виробництва – 49,2%.
6. Гібрид ДКС 5206 (ФАО 420), густота 60 тис. рослин/га (1 га). Урожайність зерна становила 4,03 т/га, рівень рентабельності виробництва – 47,0%.
7. Гібрид ДКС 5206 (ФАО 420), густота 65 тис. рослин/га (1 га). Урожайність зерна становила 3,78 т/га, рівень рентабельності виробництва – 39,9%.

На площі 7 га валовий збір зерна становив 29,56 т, середня урожайність – 4,22 т/га. Розрахунки підтвердили, що впроваджена технологія забезпечила сталий рівень рентабельності у середньому по виробничому посіву 46,8%, що є високим показником для умов Південного Степу України у посушливому 2025 році.

Розроблену технологію вирощування кукурудзи планується і в подальшому застосовувати у виробничій діяльності в структурі посівів ФГ «ВИКО».

Голова ФГ «ВИКО»



Віктор ВОЗНЯК

Додаток А.2

Акт впровадження науково-технічної розробки

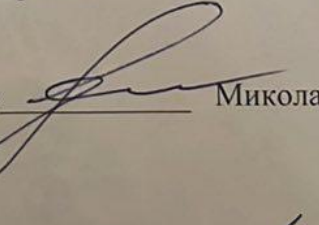
Автор розробки (організація): **Гамула Євген Анатолійович**
(Херсонський державний аграрно-економічний університет)

Назва розробки: Удосконалення технології вирощування гібридів кукурудзи
на зерно марки ДЕКАЛБ для умов ТОВ «АГРОТЕХНОЛОГІЯ»
Кіровоградської області (м. Кропивницький)

Коротка характеристика роботи	Результати впровадження
Впродовж 2025 р. в умовах ТОВ «АГРОТЕХНОЛОГІЯ» було впроваджено технологію вирощування гібридів кукурудзи на зерно марки ДЕКАЛБ: ДКС 4391 – густота 65 тис./га (1 га), ДКС 4712 – густота 60 тис./га (1 га), ДКС 5206 – густота 55 тис./га (1 га). Впродовж вегетації у мікростадіях ВВСН 13–15 та ВВСН 17–19 проводили позакореневі підживлення посівів мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза у нормі 0,75 кг/га з витратою робочого розчину 300 л/га.	Площа, га: 3,0 <ul style="list-style-type: none">ДКС 4391 – 1 гаДКС 4712 – 1 гаДКС 5206 – 1 га
	Урожайність зерна кукурудзи у виробничих умовах господарства: 4,15 т/га
	Урожайність зерна кукурудзи за впроваджуваної технології: <ul style="list-style-type: none">ДКС 4391 – 4,95 т/гаДКС 4712 – 4,80 т/гаДКС 5206 – 4,42 т/гаСередня – 4,72 т/га
	Економічний ефект від впровадження: за використання розробки: чистий прибуток підвищився на 4,25 тис. грн/га, рівень рентабельності становив 52,2%.

Акт участі у фінансових операціях не приймає.

Представник господарства:

Директор ТОВ «АГРОТЕХНОЛОГІЯ»  Микола САВЧУК

Представник автора розробки:

Здобувач вищої освіти ступеня

доктора філософії, Херсонський

державний аграрно-економічний університет

 Євген ГАМУЛА