

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
БІЛОЦЕРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

СТЕПАНЕНКО Микола Володимирович

УДК 620.952:633.15

ДИСЕРТАЦІЯ
ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ ДЛЯ
ВИРОБНИЦТВА БІОЕТАНОЛУ В УМОВАХ ПРАВОБЕРЕЖНОГО
ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

201 Агроніомія

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



Микола СТЕПАНЕНКО

Науковий керівник

Микола ГРАБОВСЬКИЙ
доктор сільськогосподарських наук,
професор

АНОТАЦІЯ

Степаненко М. В. Оптимізація технології вирощування кукурудзи для виробництва біоетанолу в умовах Правобережного Лісостепу України.
Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 201 – «Агрономія» (20 «Аграрні науки та продовольство»). – Білоцерківський національний аграрний університет, Біла Церква, 2024.

В дисертації викладено теоретичне узагальнення та нове вирішення наукової проблеми – підвищення врожайності та якості зерна кукурудзи придатного для виробництва біоетанолу, яке полягає в оптимізації площі розміщення рослин в посіві за рахунок способу сівби та удосконалення системи удобрення за використання азотних добрив та мікроелементів у підживлення. Отримані результати та розроблені рекомендації є комплексом підходів до збільшення продуктивності гібридів кукурудзи за підвищення якості зернової продукції.

Висвітлено актуальність теми, зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, мета і завдання досліджень, що була досягнута завдяки обґрунтуванню ефективності використання оптимального способу сівби та системи забезпечення рослин елементами живлення у сучасних технологіях вирощування зернової кукурудзи в умовах Правобережного Лісостепу України, що забезпечує високу її продуктивність та якість продукції.

Методологією досліджень було визначено можливість використання оптимального способу сівби та системи живлення рослин при вирощуванні зернової кукурудзи для виробництва біоетанолу.

Наукова новизна одержаних результатів. Вперше в умовах Правобережного Лісостепу України удосконалено елементи сортової агротехніки сучасних гібридів кукурудзи різних груп стиглості; визначено комплексну дію способів сівби та системи удобрення на формування зернової продуктивності цієї культури для виробництва біоетанолу. Визначено і обґрунтовано можливості гібридів кукурудзи різних груп стиглості формувати

сталу продуктивність у різні за погодними умовами роки залежно від способів сівби та системи удобрення. Розроблено кореляційно-регресійні моделі продуктивності за дії агротехнічних чинників, здійснено економічну та енергетичну оцінки розроблених елементів технології вирощування гібридів кукурудзи для виробництва біоетанолу в умовах Правобережного Лісостепу України.

Удосконалено елементи технології вирощування гібридів кукурудзи різних груп стиглості для виробництва біоетанолу та визначено їх реакцію на застосування різних способів сівби і системи удобрення.

Набули подальшого розвитку наукові положення щодо особливостей росту й розвитку рослин кукурудзи, формування врожайності та якості зерна залежно від гібридного складу, способу сівби та системи удобрення.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробці науково-практичних рекомендацій виробництву щодо використання зерна кукурудзи в якості сировини для виробництва біоетанолу. На основі отриманих даних розроблено математичну модель росту й розвитку кукурудзи, оптимізації живлення рослин та просторового розміщення рослин в умовах Правобережного Лісостепу України.

Проаналізовано праці вітчизняних та зарубіжних вчених із фізіологічної ролі макро- та мікроелементів, оптимізації просторового розміщення рослин в рядку та міжрядді за рахунок різних способів сівби для вирощування кукурудзи, можливості використання зерна кукурудзи в якості сировини для виробництва біоетанолу та перспективи використання інших видів сировини в порівнянні із зерном кукурудзи.

Встановлені особливості ростових процесів кукурудзи, формування площі листової поверхні, фотосинтетичного потенціалу, чистої продуктивності гібридів кукурудзи різних груп стиглості за рахунок застосування різних способів сівби та системи удобрення. Досліджена залежність тривалості фенологічних фаз та вегетаційного періоду залежно від різних способів сівби кукурудзи та застосування азотних добрив та мікроелементів, що в

подальшому дозволить максимально використовувати генетичні властивості гібридів кукурудзи у формуванні високих рівнів урожайності та якості продукції придатної для виробництва біоетанолу.

Формування тривалості вегетаційного періоду та проходження окремих фаз росту і розвитку рослин кукурудзи істотно залежить від групи стиглості гібриду та системи удобрення, а вплив способу сівби був найменшим.

Максимальні показники висоти рослин гібриду СИ Зефір сформувалися на варіанті із внесенням азотних добрив перед сівбою у нормі 40 кг д. р. /га у поєднанні із внесенням мікродобрива Вуксал Р Мах – 54,5 см у фазу 7-8 листків кукурудзи, 232,6 см у фазу цвітіння волотей, 237,3 см у фазу молочної стиглості зерна та 238,0 у фазу повної стиглості зерна. Найкращим для формування висоти рослин був спосіб сівби кукурудзи зі схемою 20,3×91,4 см. У гібрида СИ Талісман вона становила (ФАО 200) – 215,2 см, 220,0 та 220,4 см, СИ Фотон (ФАО 260) – 221,5 см, 226,1 та 226,5 см, НК Термо (ФАО 330) – 228,2 см, 233,4 та 233,1 см, СИ Зефір (ФАО 430) – 235,2 см, 239,8 та 239,9 см, відповідно у фазу цвітіння волотей, молочної стиглості та повної стиглості зерна. Спосіб сівби також впливав на висоту закладання качанів, найбільше значення кріплення качанів, в середньому за роки досліджень, відмічено за схеми сівби 20,3×91,4 см у гібрида СИ Талісман – 67,1 см, СИ Фотон – 74,1 см, НК Термо – 97,5 та СИ Зефір – 122,8 см.

Найкращі параметри площі листової поверхні склалися за схеми сівби 20,3×96,5 см. Встановлено зростання фотосинтетичного потенціалу досліджуваних гібридів кукурудзи за застосування схеми сівби 20,3×96,5 см на 0,95–6,39 %, порівняно із іншими способами сівби. Внесення азотних добрив N₄₀ перед сівбою у поєднанні із мікродобривом Вуксал Р Мах забезпечує найвище значення чистої продуктивності фотосинтезу 6,713 г/м² за добу, 10,864 та 6,323 г/м² за добу, відповідно у фазу 7-8 листків, цвітіння волотей та воскової стиглості зерна.

Найкращі умови для формування довжини (17,65 см) та діаметру качана (4,60 см), маси зерна з качана (150,98 г) та маси 1000 зерен (229,95 г) отримано

на варіанті 20,3×91,4 см. Найбільш сприятливі умови живлення рослин із внесенням азотних добрив N₄₀ перед сівбою у поєднанні із мікродобривом Вуксал Р Мах забезпечують найвищі параметри структури врожаю. Довжину качана – 18,3 см, діаметр качана – 5,0 см, масу зерна з качана – 178,2 г та маса 1000 зерен – 267,6 г, що на 0,3 см, 0,4 см, 30,9 г та 29,0 г більше в порівнянні із контрольним варіантом (без внесення добрив).

Використання ранньостиглої групи гібридів кукурудзи та широкорядного способу сівби забезпечує найменше значення передзбиральної вологості зерна – 16,27 % та 17,9 %, відповідно. Найвище значення передзбиральної вологості зерна отримано на варіанті де вносилося азотне добриво N₄₀ перед сівбою у поєднанні із мікродобривом Вуксал Р Мах – 23,4 %. Що є негативним оскільки викликає необхідність додаткових затрат на досушування і доведення до базових кондицій такого зерна.

Поліпшення умов живлення рослин кукурудзи за рахунок внесення азотних добрив та мікроелементів сприяє зростанню рівня урожайності на 0,68–2,21 т/га, порівняно із контрольним варіантом (без добрив). Найкращою схемою сівби досліджуваних гібридів кукурудзи є 20,3×91,4 см, яка забезпечує найвищий рівень урожайності зерна – 9,8 т/га, що на 1,2 т/га більше в порівнянні із контрольним варіантом та на 0,5–1,0 /га порівняно із іншими схемами посіву.

Найбільш оптимальною для накопичення крохмалю у зерні була схема сівби 20,3×96,5 см, зростання вмісту крохмалю на даному варіанті становило 0,08–0,50% в порівнянні із іншими варіантами дослідів. Застосування азотних добрив та мікроелементів знижує вміст крохмалю та жиру на 0,20–0,85 % та 0,25–0,41 %, а вміст білку підвищує на 0,33–0,71% в порівнянні із контрольним варіантом (без добрив).

Відмічено зростання виходу біоетанолу 0,485–1,314 тис. л/га в гібридів із тривалим вегетаційним періодом в порівнянні із скоростиглими формами. Оптимізація площі живлення однієї рослини за рахунок зміни схеми розміщення рослин в рядку та міжрядді дозволяє збільшувати вихід біоетанолу

у досліджуваних гібридів кукурудзи різних груп стиглості на 0,254–0,550 тис. л/га, в порівнянні із контрольним варіантом (70 см).

Доведено, що найбільш сприятливим із економічної сторони є спосіб сівби із схемою 20,3×91,4 см, який забезпечив найбільший показник рентабельності, що на 2,5-15 % більше в порівнянні із застосуванням інших способів сівби. Внесення азотних добрив (N_{40}) перед сівбою у поєднанні із мікродобривом Вуксал Р Мах забезпечує найбільшу урожайність гібриду СИ Зефір (11,61 т/га), вартість валової продукції – 65,016 тис. грн/га, умовно чистий прибуток 37,278 тис. грн/га та рівень рентабельності 134,4 %. Використання гібридів із більш тривалим вегетаційним періодом НК Термо (ФАО 330) та СИ Зефір (ФАО 430) для переробки на біоетанол найбільш вигідне, оскільки забезпечує найвищий умовно чистий прибуток 71020–76080 тис. грн. /га та рівень рентабельності 170,0–180,8 %.

Максимальне значення виходу біоетанолу (5,134 тис. л/га) отримано на варіанті із внесенням азотних добрив (N_{40}) перед сівбою у поєднанні із мікродобривом Вуксал Р Мах, умовно чистий прибуток склав 84,424 тис. грн./га, а рівень рентабельності 199,1%.

Енергетичний коефіцієнт виявився найвищим на варіанті із схемою сівби 20,3×91,4 см для гібриду СИ Талісман (ФАО 200) – 2,49, СИ Фотон (ФАО 260) – 2,55, НК Термо (ФАО 330) – 2,73 та СИ Зефір (ФАО 430) – 2,85, тоді як на контрольному варіанті (70 см) він становив – 2,23, 2,41, 2,52 та 2,62. Найкращим варіантом за значенням енергетичного коефіцієнту та накопичення енергії врожаю був варіант удобрення, що передбачав внесення азотних добрив (N_{40}) перед сівбою у поєднанні із мікродобривом Вуксал Р Мах – 2,95 та 191,57 ГДж/га.

Ключові слова: кукурудза, гібрид, спосіб сівби, фотосинтез, зерно, біоетанол, мікроелементи, позакореневі підживлення, урожайність, лінійні розміри, продуктивність фотосинтезу, площа листкової поверхні.

ANNOTATION

Stepanenko M. Optimization of corn cultivation technology for bioethanol production in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 201 – «Agronomy» (20 «Agricultural Sciences and Food») – Bila Tserkva National Agrarian University, Bila Tserkva, 2024.

The thesis presents a theoretical generalization and a new solution to the scientific problem of increasing the yield and quality of corn grain suitable for bioethanol production, which consists in optimizing the area of plants in the crop by means of the sowing method and improving the fertilization system using nitrogen fertilizers and microelements in fertilization. The results obtained and recommendations developed are a set of approaches to increasing the productivity of corn hybrids while improving the quality of grain products.

The article highlights the relevance of the topic, the connection of the work with scientific programmers, plans, topics, the purpose and objectives of the research, which was achieved by substantiating the effectiveness of the use of the optimal sowing method and the system of plant nutrient supply in modern technologies of grain corn cultivation in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine, which ensures its high productivity and product quality.

The research methodology was used to determine the possibility of using the optimal sowing method and plant nutrition system for growing grain corn for bioethanol production.

Scientific novelty of the results. For the first time in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine, the elements of varietal agrotechnics of modern corn hybrids of different maturity groups were improved; the complex effect of sowing methods and fertilization system on the formation of grain productivity of this crop for bioethanol production was determined. The possibilities of corn hybrids of different maturity groups to form a stable productivity in different weather conditions depending on the sowing methods and fertilization system are determined

and substantiated. Correlation and regression models of productivity under the influence of agrotechnical factors were developed, economic and energy estimates of the developed elements of technology for growing corn hybrids for bioethanol production in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine were carried out.

Elements of the technology for growing corn hybrids of different maturity groups for bioethanol production were improved and their response to the use of different sowing methods and fertilization systems was determined.

The scientific provisions on the peculiarities of growth and development of corn plants, formation of yield and grain quality depending on the hybrid composition, sowing method and fertilization system were further developed.

The practical significance of the obtained results is the development of scientific and practical recommendations for production on the use of corn grain as a raw material for bioethanol production. Based on the data obtained, a mathematical model of corn growth and development, optimization of plant nutrition and spatial placement of plants in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine was developed.

The article analyses the works of domestic and foreign scientists on the physiological role of macro- and microelements, optimization of spatial placement of plants in a row and between rows due to different methods of sowing for growing corn, the possibility of using corn grain as a raw material for bioethanol production and the prospects for using other types of raw materials in comparison with corn grain.

The peculiarities of corn growth processes, formation of leaf surface area, photosynthetic potential, and net productivity of corn hybrids of different maturity groups were determined by using different sowing methods and fertilization systems. The dependence of the duration of phenological phases and the growing season on different methods of sowing corn and the use of nitrogen fertilizers and trace elements was investigated, which will further allow the maximum use of the genetic properties of corn hybrids in the formation of high levels of yield and quality of products suitable for bioethanol production.

The formation of the length of the growing season and the passage of individual phases of growth and development of corn plants significantly depends on the maturity group of the hybrid and the fertilization system, and the influence of the sowing method was the smallest.

The maximum plant height of the hybrid SI Zephyr was formed in the variant with the application of nitrogen fertilizers before sowing at a rate of 40 kg/ha in combination with the application of microfertilizer Vuksal P Max – 54.5 cm in the phase of 7-8 leaves of corn, 232.6 cm in the phase of flowering panicles, 237.3 cm in the phase of milk ripeness of grain and 238.0 in the phase of full grain ripeness. The best method for forming plant height was sowing corn with a pattern of 20.3 × 91.4 cm. In the hybrid SI Talisman it was 215.2 cm, 220.0 and 220.4 cm (FAO 200), SI Photon (FAO 260) – 221.5 cm, 226.1 and 226.5 cm, NK Thermo (FAO 330) – 228.2 cm, 233.4 and 233.1 cm, SI Zefir (FAO 430) – 235.2 cm, 239.8 and 239.9 cm, respectively, in the phase of panicle flowering, milk ripeness and full grain ripeness. The sowing method also influenced the height of the cobs, the highest value of cob attachment, on average over the years of research, was observed with a sowing scheme of 20.3 × 91.4 cm in the hybrid SI Talisman – 67.1 cm, SI Photon – 74.1 cm, NK Thermo – 97.5 and SI Zefir – 122.8 cm.

The best parameters of leaf surface area were obtained with a sowing scheme of 20.3 × 96.5 cm. The increase of photosynthetic potential of the studied corn hybrids under the sowing scheme of 20.3×96.5 cm was found to be 0.95-6.39 % compared to other sowing methods. The application of nitrogen fertilizer N40 before sowing in combination with microfertilizer Vuksal P Max provides the highest value of net photosynthetic productivity of 6.713 g/m² per day, 10.864 and 6.323 g/m² per day, respectively, in the phase of 7-8 leaves, flowering panicles and waxy ripeness of grain.

The best conditions for the formation of cob length (17.65 cm) and diameter (4.60 cm), grain weight per cob (150.98 g) and weight of 1000 grains (229.95 g) were obtained in the variant 20.3 × 91.4 cm. The most favorable conditions for plant nutrition with the application of N₄₀ nitrogen fertilizer before sowing in combination

with Vuksal R Max microfertilizer provide the highest parameters of the crop structure. The length of the cob was 18.3 cm, the diameter of the cob was 5.0 cm, the weight of grain per cob was 178.2 g and the weight of 1000 grains was 267.6 g, which is 0.3 cm, 0.4 cm, 30.9 g and 29.0 g more than in the control variant (without fertilization).

The use of the early maturing group of corn hybrids and the wide-row sowing method provides the lowest value of pre-harvest grain moisture – 16.27 % and 17.9%, respectively. The highest value of pre-harvest grain moisture content was obtained in the variant where nitrogen fertilizer N₄₀ was applied before sowing in combination with microfertilizer Vuksal P Max – 23.4%. This is negative because it requires additional costs for drying and bringing such grain to the basic conditions.

Improving the nutritional conditions of corn plants through the introduction of nitrogen fertilizers and microelements contributes to an increase in yield by 0.68–2.21 t/ha compared to the control variant (without fertilizers). The best sowing scheme of the studied corn hybrids is 20.3×91.4 cm, which provides the highest level of grain yield – 9.8 t/ha, which is 1.2 t/ha more compared to the control variant and 0.5–1.0 /ha compared to other sowing schemes.

The most optimal for the accumulation of starch in the grain was the sowing scheme of 20.3 × 96.5 cm, the increase in starch content in this variant was 0.08–0.50% compared to other variants of the experiment. The use of nitrogen fertilizers and microelements reduces the starch and fat content by 0.20–0.85% and 0.25–0.41%, and increases the protein content by 0.33–0.71% compared to the control variant (without fertilizers).

An increase in bioethanol yield of 0.485–1.314 thousand l/ha was observed in hybrids with a long growing season compared to early maturing forms. Optimization of the feeding area of one plant by changing the scheme of plant placement in a row and between rows allows to increase the yield of bioethanol in the studied corn hybrids of different maturity groups by 0.254–0.550 thousand l/ha, compared to the control variant (70 cm).

It has been proved that the most favorable from the economic point of view is

the method of sowing with a scheme of 20.3×91.4 cm, which provided the highest rate of profitability, which is 2.5–15 % higher compared to the use of other methods of sowing. The application of nitrogen fertilizers (N_{40}) before sowing in combination with the microfertilizer Vuksal R Max ensures the highest yield of the hybrid SI Zephyr (11.61 t/ha), the cost of gross production – 65.016 thousand UAH/ha, conditional net profit – 37.278 thousand UAH/ha and a profitability level of 134.4%. The use of hybrids with a longer growing season NK Termo (FAO 330) and SI Zephyr (FAO 430) for bioethanol processing is the most profitable, as it provides the highest notional net profit of 71,020–76,080 thousand UAH/ha and a profitability level of 170.0–180.8%.

The maximum value of bioethanol yield (5.134 thousand l/ha) was obtained in the variant with the application of nitrogen fertilizer (N_{40}) before sowing in combination with Vuksal R Max microfertilizer, with a conditional net profit of UAH 84.424 thousand/ha and a profitability level of 199.1%.

The energy coefficient was the highest in the variant with a sowing scheme of 20.3×91.4 cm for the hybrid SI Talisman (FAO 200) – 2.49, SI Photon (FAO 260) – 2.55, NK Thermo (FAO 330) – 2.73 and SI Zephyr (FAO 430) – 2.85, while in the control variant (70 cm) it was 2.23, 2.41, 2.52 and 2.62. The best variant in terms of energy coefficient and energy accumulation of the crop was the fertilization variant, which involved the application of nitrogen fertilizer (N_{40}) before sowing in combination with the microfertilizer Vuksal P Max – 2.95 and 191.57 GJ/ha.

Keywords: *corn, hybrid, sowing method, photosynthesis, grain, bioethanol, trace elements, foliar feeding, yield, linear dimensions, photosynthetic productivity, leaf surface area.*

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Наукові праці, в яких опубліковані основні результати дисертації:

1. **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/agraar.innov.2023.21.16> (планування і виконання досліджень, аналіз даних, написання статті, частка участі – 50 %).

2. **Степаненко М. В.,** Грабовський М. Б. Вплив способів сівби на формування маси 1000 зерен у гібридів кукурудзи. *Таврійський науковий вісник*. 2023. № 133. С. 159–165. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.133.21>. (планування і виконання досліджень, аналіз даних, написання статті, частка участі – 60 %).

3. **Степаненко М. В.,** Грабовський М. Б. Вплив способів сівби на тривалість окремих міжфазних періодів та вегетаційного періоду кукурудзи. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: «Агрономія і біологія»*. 2023. Вип. 3 (53). С. 85–90. DOI: <https://doi.org/10.32782/agrobio.2023.3.12>. (планування і виконання досліджень, аналіз даних, написання статті, частка участі – 60 %).

4. Степаненко М. В. Вплив способів сівби на вміст крохмалю та білку в зерні гібридів кукурудзи. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2023. Вип. 74-2. С. 107–115. DOI: [10.32636/01308521.2023-\(74\)-2-10](https://doi.org/10.32636/01308521.2023-(74)-2-10).

5. Степаненко М. В. Формування площі листової поверхні кукурудзи залежно від системи удобрення. *Зернові культури*. 2023. Том 7. № 2. С. 300–306. DOI: <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0290>.

6. Степаненко М. В. Економічна оцінка вирощування кукурудзи на біоетанол залежно від системи удобрення. *Таврійський науковий вісник*. 2023. № 134. С. 158–164. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.134.20>

2. Матеріали наукових конференцій, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

7. Грабовський М. Б., **Степаненко М. В.** Вплив способу сівби на

формування продуктивності кукурудзи. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції *«Роль науково-технічного забезпечення розвитку агропромислового комплексу в сучасних ринкових умовах»*, м. Дніпро, 25 лютого, 2021 р. С. 159–161. (авторство 60 %, отримано експериментальні дані, проведено аналіз результатів, написання тез).

8. **Степаненко М. В.** Вплив азотного добрива, мікродобрив та регуляторів росту на ріст і розвиток рослин кукурудзи. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції *«Інноваційні технології в агрономії, землеустрої, електроенергетиці, лісовому та садово-парковому господарстві»*, м. Біла Церква, 21 жовтня 2021 року, С. 6–7.

9. Качан Л. М., **Степаненко М. В.** Формування біометричних показників кукурудзи залежно від способу сівби. Матеріали V Всеукраїнської наукової інтернет-конференції *«Інноваційні технології в рослинництві»*, м. Кам'янець-Подільський, 25 травня 2022 р., С. 65–66. (авторство 60 %, отримано експериментальні дані, проведено аналіз результатів, написання тез)

10. Грабовський М. Б., **Степаненко М. В.** Вихід біостанолу та енергії у гібридів кукурудзи різних груп стиглості. *Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції «Селекція агрокультур в умовах змін клімату: напрями та пріоритети»*, м. Одеса 30 вересня 2022 р., С. 188–190. (авторство 60 %, отримано експериментальні дані, проведено аналіз результатів, написання тез)

11. **Степаненко М. В.**, Грабовський М. Б., Козак Л. А. Вплив азотного добрива та мікродобрив на площу листкової поверхні та фотосинтетичний потенціал посівів кукурудзи. Матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції молодих учених і спеціалістів *«Вклад наукових інвестицій у розвиток агропромислового комплексу в умовах обмеженого ресурсного забезпечення та флуктуацій клімату»*, м. Дніпро, 16-17 березня 2023 р. С. 150–151. (авторство 40 %, отримано експериментальні дані, проведено аналіз результатів, написання тез)

12. **Степаненко М. В.**, Грабовський М. Б. Зміна тривалості вегетаційного

періоду та висоти рослин кукурудзи під впливом мінерального живлення. Збірник матеріалів II Міжнародної науково-практичної конференції «Селекція агрокультур в умовах змін клімату: напрями та пріоритети», м. Одеса, 24 березня 2023 р. С. 257–259. (авторство 50 %, отримано експериментальні дані, проведено аналіз результатів, написання тез)

13. **Степаненко М. В.**, Грабовський М. Б., Козак Л. А., Качан Л. М. Вихід біоетанолу у гібридів кукурудзи залежно від технології вирощування. Застосування мікродобрих при вирощуванні кукурудзи на силос. Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, присвяченої до Дня науки в Україні «Формування інноваційних агротехнологій в умовах змін клімату для забезпечення сталого розвитку агропромислового комплексу України», м. Одеса, 18–19 травня 2023 р., С. 73–76. (авторство 35 %, отримано експериментальні дані, проведено аналіз результатів, написання тез)

14. **Степаненко М. В.**, Грабовський М. Б., Качан Л. М., Козак Л. А. Вміст крохмалю в зерні кукурудзи залежно від способу сівби. Матеріали XII Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених «Актуальні проблеми агропромислового виробництва України: виклики і шляхи розвитку в умовах війни і повоєнної відбудови», с. Оброшине, 23 листопада 2023 р., Львів-Оброшине, 2023. С. 114–115. (авторство 40 %, отримано експериментальні дані, проведено аналіз результатів, написання тез)

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ	17	
ВСТУП	18	
РОЗДІЛ 1	ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ КУКУРУДЗИ ПРИДАТНОЇ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ НА БІОЕТАНОЛ	26
1.1	Аграрний потенціал України для виробництва біопалив	
	сучасний стан та перспективи розвитку	26
1.2	Вирощування кукурудзи на зерно для біоенергетичних	
	та кормових цілей	29
1.3	Особливості використання кукурудзи та інших біоенергетичних культур для виробництва біоетанолу	46
	Висновки до розділу 1	52
РОЗДІЛ 2	УМОВИ, МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	54
2.1	Ґрунтово-кліматичні умови проведення досліджень	54
2.2	Характеристика погодних умов за роками проведених досліджень	55
2.3	Схеми досліду і методика проведення досліджень	60
2.4	Агротехніка в досліді	65
2.5	Характеристика досліджуваних гібридів кукурудзи та мікродобрив	66
	Висновки до розділу 2	70
РОЗДІЛ 3	ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ КУКУРУДЗИ ЗАЛЕЖНО ВІД СПОСОБУ СІВБИ	72
3.1	Зміна тривалості міжфазних періодів рослин кукурудзи під впливом способу сівби	72
3.2	Біометричні показники рослин кукурудзи	78
3.3	Динаміка наростання площі листової поверхні кукурудзи	82
3.4	Елементи структури врожаю гібридів кукурудзи	91
3.5	Урожайність зерна гібридів кукурудзи	94
	Висновки до розділу 3	98
РОЗДІЛ 4	ВПЛИВ ЗАСТОСУВАННЯ АМІАЧНОЇ СЕЛІТРИ І МІКРОДОБРИВ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ КУКУРУДЗИ	102
4.1	Тривалість вегетаційного періоду та окремих його частин залежно від системи удобрення кукурудзи	102
4.2	Формування фотосинтетичних показників посівів	104

	кукурудзи та висоти рослин залежно від застосування аміачної селітри і мікродобрив	
4.3	Вплив рівня мінерального живлення на елементи структури врожаю кукурудзи	113
4.4	Урожайність зерна кукурудзи залежно від використання аміачної селітри і мікродобрив	115
	Висновки до розділу 4	117
РОЗДІЛ 5	ЯКІСНІ ПОКАЗНИКИ ЗЕРНА КУКУРУДЗИ ТА РОЗРАХУНКОВИЙ ВИХІД БІОЕТАНОЛУ	119
5.1	Формування показників якості зерна кукурудзи залежно від досліджуваних факторів	119
5.2	Розрахунковий вихід біоетанолу з зерна гібридів кукурудзи під впливом досліджуваних факторів	126
5.3	Взаємозв'язок виходу біоетанолу з комплексом господарсько-цінних ознак кукурудзи	132
	Висновки до розділу 5	134
РОЗДІЛ 6	ЕКОНОМІЧНА ТА ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ	137
6.1	Економічна ефективність вирощування кукурудзи	137
6.2	Енергетична ефективність вирощування кукурудзи	144
	Висновки до розділу 6	147
	ВИСНОВКИ	150
	РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ	155
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	156
	ДОДАТКИ	186

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

см – сантиметр

ФАР – фотосинтетична активна радіації

C₄ – тип фотосинтезу

США – Сполучені штати Америки

НРК – азот, фосфор, калій

т – тонна

кг – кілограм

ЄС – Європейський союз

ПДВ – податок на додану вартість

тис. – тисяч

НВЦ – науково-виробничий центр

мм – міліметр

шт. – штук

ФАО – всесвітня продовольча та сільськогосподарська організація

Zn, S, B, Cu, Fe, Mn, Mo – цинк, сірка, бор, мідь, залізо, марганець, молібден

ФП – фотосинтетичний потенціал

НІР₀₅ – найменша істотна різниця

га – гектар

г – грам

м² – метр квадратний

N₄₀ – 40 кілограм діючої речовини азоту

r – коефіцієнт кореляції

ГДж – гіга джоуль

грн – гривня

E₀ – витрати енергії на вирощування урожаю

E_v – накопичення енергії врожаєм

КЕ – енергетичний коефіцієнт

д. р. – діюча речовина

E – приріст енергії

ВСТУП

Сьогодні аграрний сектор України розглядається не лише як джерело продовольчих та кормових продуктів, а як виробник біомаси основної і побічної продукції для отримання альтернативних видів палива, зокрема і біоетанолу. Для отримання максимальної продуктивності зернових культур, в тому числі і кукурудзи, як основної сировини для виробництва біоетанолу важливим є створення та використання високоврожайних, адаптивних гібридів, агроекологічної орієнтації з високим ступенем генетичного захисту від біотичних і абіотичних факторів середовища придатних для інтенсивних технологій вирощування [1–4].

Зростаючі потреби людства в продуктах харчування, енергетики у відновлювальній сировині, а тваринництва у високоякісних кормах сприяє розширенню виробництва високоенергетичних культур. В аграрному виробництві постійно ведеться пошук нових перспективних та економічно вигідних технологій вирощування високоефективних та продуктивних культур, таких як кукурудза [3, 5].

З точки зору забезпечення власними енергоресурсами Україна належить до енергодефіцитних країн, оскільки щороку споживає близько 200 млн т у. п., з якого лише 53 % власного виробництва. В зв'язку із цим для України актуальним є пошук альтернативних джерел енергії з постійним зменшенням частки викопних видів палива, перш за все за рахунок продукції аграрного сектору [6–8]. В останні роки за експортом кукурудзи Україна вийшла на 4–6 місце у світі і за оцінками експертів Україна має аргументований потенціал до 20-25 млн тон зерна кукурудзи [9].

Актуальність теми. Україна належить до числа провідних аграрних держав світу. Досить сприятлива характеристика біокліматичного потенціалу нашої країни сприяє вирощуванню максимальної продуктивності сільськогосподарських культур, за умови застосування сучасних технологій вирощування. За умови зростання продуктивності зернової кукурудзи

розглядається можливість використання частини її врожаю в якості сировини для отримання біоетанолу.

У сучасних умовах ведення сільського господарства для населення нашої країни та світу в цілому особливою проблемою є питання забезпечення рослинним білком та продуктами харчування, паливом та галузі тваринництва збалансованими кормами. Існуючі технології вирощування зернової кукурудзи в Україні дозволяють розглядати рівень потенційної урожайності зерна 14-16 т/га та з реалізацією у виробництві 8-12 т/га.

Важливою компонентною переробки кукурудзи на біоетанол є зерно із високим вмістом крохмалю. Вміст крохмалю в зерні визначається генетичними особливостями гібриду та істотно залежить від технологічної схеми вирощування, впливу біотичних та абіотичних чинників навколишнього середовища.

Потенціал урожайності кукурудзи у виробничих умовах використовується неповністю, хоча потенційні можливості сучасних гібридів кукурудзи дуже значні. Основним напрямом підвищення урожайності зерна кукурудзи є оптимізація індивідуальної площі живлення рослин за рахунок різних способів сівби та забезпечення рослин достатньою кількістю елементів живлення. Особливої актуальності ці питання набувають в умовах дефіциту традиційних видів енергоресурсів і їх високій вартості, глобальних змін клімату, дефіциту органічних добрив та високої вартості мінеральних добрив.

У попередніх дослідженнях ряду вчених В. Паламарчука, Я. Гадзало, Г. Калетніка, М. Грабовського, В. Дубровіна, Г. Господаренка, С. Кліщенко, В. Кириченка, Г. Гелетухи, Г. Голуба, В. Берегового, І. Гончарук, М. Роїка, В. Курило, О. Шпичак, Б. Федорченко, М. Дудки, А. Дороніна, Ю. Пашенка, М. Бахмата, А. Черенкова, В. Гречкосія, О. Климчука, С. Кухарця, В. Камінського, В. Мойсієнко, А. Андрієнко, О. Рибалка, Б. Дзюбецького, В. Черчеля, І. Гуревої, Т. Марченко, І. Бабича, О. Колосова, О. Гайдука, В. Гавриша, Б. Моргуна, О. Коваленка, Я. Надь та інших немає детальної характеристики використання зерна кукурудзи в якості сировини для

виробництва біоетанолу та впливу елементів технології на формування якісних параметрів зернової маси придатної для цього напрямку використання.

Безумовна значущість відомих наукових розробок з дослідження проблем біоенергетики, можливості використання рослинницької продукції в якості сировини для виробництва біопалив, оптимізації технологій вирощування основної та побічної продукції дозволить отримувати урожай із необхідними параметрами якості. Адже використання рослинницької продукції для виробництва біопалив має позитивне значення оскільки є відновлювальним, в порівнянні із вичерпними видами палив.

У зв'язку із цим дослідження в даному напрямі є актуальними та перспективними для сучасного аграрного сектору, енергонезалежності України оскільки вирішують енергетичну проблему отримання відновлювальних джерел енергії, агрономічну – сприяють збільшенню виробництва основної та побічної продукції та мають наукове і практичне значення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження за темою дисертаційної роботи виконані впродовж 2021–2023 рр. і є складовою частиною наукових досліджень ініціативних наукових тематик Білоцерківського національного аграрного університету за завданням «Наукове обґрунтування адаптивних і ресурсозберігаючих технологій вирощування сільськогосподарських та біоенергетичних культур в умовах Центрального Лісостепу України» (номер державної реєстрації 0118U004125) і «Агротехнічне та екологічне обґрунтування елементів технології вирощування зернових і зернобобових культур в Лісостепу України» (номер державної реєстрації 0122U202065).

Мета і завдання дослідження. Метою досліджень було встановлення особливостей формування продуктивності сучасних гібридів кукурудзи різних груп стиглості шляхом оптимізації живлення рослин та способів сівби і можливості ефективного використання зерна кукурудзи в якості сировини для отримання біоетанолу в умовах Правобережного Лісостепу України.

Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

- визначити тривалість фаз росту й розвитку рослин, проаналізувати особливості формування листової поверхні кукурудзи, величину продуктивності фотосинтезу;
- провести фенологічні спостереження та визначити лінійні показники рослин кукурудзи залежно від груп стиглості гібриду, способів сівби та системи удобрення;
- науково обґрунтувати вплив досліджуваних факторів (застосування нових гібридів, способів сівби, системи удобрення) на формування врожайності зерна та структуру врожаю різних за скоростиглістю гібридів кукурудзи;
- теоретично обґрунтувати шляхи інтенсифікації виробництва і розробити математичну модель росту й розвитку кукурудзи придатної для виробництва біоетанолу;
- проаналізувати економічну та біоенергетичну ефективність вирощування зерна кукурудзи залежно від досліджуваних факторів для переробки на біоетанол.

Об'єкт дослідження – процеси росту і розвитку, формування урожаю кукурудзи, залежно від способів сівби та живлення рослин, зв'язки між абіотичними чинниками та фенотиповою продуктивністю рослин в умовах Правобережного Лісостепу України.

Предмет дослідження – гібриди кукурудзи, способи сівби, застосування макро- та мікродобрив, урожайність, гідротермічні умови, якісні показники зерна, теоретичний вихід біоетанолу та крохмалю.

Методи дослідження. Під час проведення досліджень використовували загальнонаукові й спеціальні методи досліджень. У дослідженнях використовували *польові, лабораторно-польові та лабораторні* методи. На основі проведення *польового методу* визначали взаємозв'язок об'єкта вивчення з біотичними та абіотичними чинниками в умовах досліджуваної зони; *лабораторного* – здійснення біохімічних аналізів якості зерна,

фізіологічних, морфологічних параметрів рослин; *хімічного* – показники якості зерна; *розрахункового* – обрахунок площі асиміляційної поверхні, фотосинтетичні показники; *математично-статистичного* – дисперсійний та кореляційний аналізи; *порівняльно-розрахункового* – розрахунок економічної та біоенергетичної ефективності використання досліджуваних елементів технології вирощування кукурудзи.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у встановленні впливу способів сівби та системи удобрення на процеси росту, розвитку та формування урожайності і якості продукції кукурудзи, придатної для виробництва біоетанолу в умовах Правобережного Лісостепу України:

Вперше в умовах Правобережного Лісостепу України удосконалено елементи сортової агротехніки сучасних гібридів кукурудзи різних груп стиглості; визначено комплексну дію способів сівби та системи удобрення на формування зернової продуктивності культури придатної для виробництва біоетанолу. Визначено і обґрунтовано можливості гібридів кукурудзи різних груп стиглості формувати сталу продуктивність у різні за погодними умовами роки залежно від способів сівби та системи удобрення.

Розраховано кореляційно-регресійні моделі продуктивності за дії агротехнічних чинників, здійснено економічну та енергетичну оцінки розроблених елементів технології вирощування гібридів кукурудзи придатних для виробництва біоетанолу в умовах Правобережного Лісостепу України.

Удосконалено елементи технології вирощування гібридів кукурудзи різних груп стиглості придатних для виробництва біоетанолу та визначено їх реакцію на застосування різних способів сівби і системи удобрення.

Набули подальшого розвитку наукові положення щодо особливостей росту і розвитку рослин кукурудзи, формування врожайності та якості зерна залежно від гібридного складу, способу сівби та системи удобрення.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробці науково-практичних рекомендацій виробництву щодо використання зерна кукурудзи в якості сировини для виробництва біоетанолу.

На основі отриманих даних розроблено математичну модель росту й розвитку кукурудзи, оптимізації живлення рослин та просторового розміщення рослин в умовах Правобережного Лісостепу України.

Удосконалені елементи технології вирощування кукурудзи було впроваджено у виробництво в передових господарствах Київської та Черкаської областей на площі 585 га, а поліпшення умов живлення рослин кукурудзи за рахунок внесення азотних добрив та мікроелементів сприяло отриманню додаткового прибутку 37,950 тис. грн./га і зростанню рівня урожайності на 0,68–2,21 т/га в порівнянні із контрольним варіантом (без добрив), застосування схеми сівби 20,3×91,4 см збільшувало продуктивність зернової кукурудзи на 5–20 %, або 1,3–2,8 т/га та отримання додаткового прибутку 35,00 тис. грн/га. Максимальне значення виходу біоетанолу (4,056–5,526 тис. л/га) та додаткового прибутку (86,350 тис. грн./га) отримано на варіанті із внесенням азотних добрив (N₄₀ перед сівбою) у поєднанні із мікродобривом Вуксал Р Мах. Вирощування гібридів кукурудзи НК Термо (ФАО 330) та СИ Зефір (ФАО 430) для отримання біоетанолу порівняно з прийнятою в господарстві технологією вирощування кукурудзи забезпечило отримання додаткового прибутку 81300 грн/га.

Основні положення дисертаційної роботи використано в освітньому процесі Білоцерківського національного аграрного університету для студентів спеціальності 201 «Агрономія» у навчальних дисциплінах «Рослинництво» і «Проектування технологічних процесів в рослинництві».

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є самостійним дослідженням здобувача та авторською працею. Автором розроблено програму досліджень у відповідності до існуючих методик, опрацьовано й узагальнено дані вітчизняної і зарубіжної наукової літератури, проведено польові та лабораторні експерименти, виконано статистичний аналіз та перевірку достовірності отриманих даних, визначено економічну та енергетичну ефективності. На основі систематизованого матеріалу обґрунтовано їхню практичну доцільність, сформульовано висновки й

рекомендації виробництву, розроблено науково-практичні рекомендації виробництву; підготовлено та опубліковано наукові статті.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати досліджень було обговорено на засіданнях кафедри технологій в рослинництві та захисту рослин Білоцерківського національного аграрного університету (2021–2023 рр.); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Роль науково-технічного забезпечення розвитку агропромислового комплексу в сучасних ринкових умовах» (м. Дніпро, 25 лютого, 2021 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні технології в агрономії, землеустрої, електроенергетиці, лісовому та садово-парковому господарстві» (м. Біла Церква, 21 жовтня 2021 року); V Всеукраїнській науковій інтернет-конференції «Інноваційні технології в рослинництві» (м. Кам'янець-Подільський, 25 травня 2022 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Селекція агрокультур в умовах змін клімату: напрями та пріоритети» (м. Одеса 30 вересня 2022 р.); Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції молодих учених і спеціалістів «Вклад наукових інвестицій у розвиток агропромислового комплексу в умовах обмеженого ресурсного забезпечення та флуктуацій клімату» (м. Дніпро, 16-17 березня 2023 р.); II Міжнародній науково-практичній конференції «Селекція агрокультур в умовах змін клімату: напрями та пріоритети» (м. Одеса, 24 березня 2023 р.); Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених, присвяченої до Дня науки в Україні «Формування інноваційних агротехнологій в умовах змін клімату для забезпечення сталого розвитку агропромислового комплексу України» (м. Одеса, 18–19 травня 2023 р.); XII Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених «Актуальні проблеми агропромислового виробництва України: виклики і шляхи розвитку в умовах війни і повоєнної відбудови» (с. Оброшине, 23 листопада 2023 р.).

Публікації результатів досліджень. Основні результати дисертації висвітлено у 14 наукових працях, із них 6 фахових публікацій та 8 праць апробаційного характеру в збірниках матеріалів науково-практичних

конференцій.

Обсяг і структура дисертації. Дисертаційна робота викладена на 248 сторінках комп'ютерного тексту (із них основного – 156). Вона складається з вступу, 6 розділів, висновків та рекомендацій виробництву, 56 додатків, списку використаної літератури, що налічує 289 найменування, в тому числі 63 латиницею. Робота містить 32 таблиці та 14 рисунків.

РОЗДІЛ 1

ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ КУКУРУДЗИ ПРИДАТНОЇ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ НА БІОЕТАНОЛ

1.1 Аграрний потенціал України для виробництва біопалив сучасний стан та перспективи розвитку

Запаси на Землі традиційних видів енергоносіїв – нафти, газу і вугілля поступово вичерпуються. Всього за одне століття людство витратило основну частину найціннішої вуглеводневої сировини, яка створювалась у надрах Землі протягом сотень мільйонів років [10–12]. Через 5–10 років розвідані запаси нафти будуть вичерпані на 60–65 %, видобуток зменшиться на 30–40 %, а потреба у використанні зросте [13, 14].

Одним із резервів заміни природних копалин є технології з отримання біопалива за використання відновлювальної біосировини [15–19]. Перевагою біопалива над своїми традиційними конкурентами: нафтою, вугіллям, газом і ядерним паливом, є можливість його природного поновлення [20, 21].

Річне споживання моторних палив в Україні у 2021 році становило: бензину – 2,0 млн. т, дизельного палива – 5,7 млн. т, пропану і бутану скраплених – 1,3 млн. т. Загальна частка енергії, виробленої з відновлюваних джерел в Україні, у валовому кінцевому енергоспоживанні у 2020-му становила 9,2 %, зокрема: в електроенергетиці – 13,9 %; у системах опалення – 9,3 %; у транспортному секторі – 2,5 % [22]. Власний видобуток сировини – нафти і газових конденсатів забезпечує лише 20 % цієї кількості, решта бензину виробляється з імпортової нафти або завозиться із сусідніх країн. Споживання рідкого палива сільськогосподарським виробництвом України становить від 50 до 110 л/га, в тому числі бензину від 10 до 30 л/га [23].

Розвинені країни приймають законодавчі нормативи про розширення частки не викопних паливних ресурсів, а гіганти, що розвиваються, на зразок Китаю, шукають нові джерела енергії для своєї промисловості і транспорту. Але в умовах різкого зростання цін на продовольство багато експертів

закликають держави обмежити активність розробки «зеленого» палива, оскільки через амбіційні плани у цій галузі і низькі врожаї основних сільгоспкультур в кінцевому підсумку збільшується число голодуючих і посилюється політична нестабільність [12, 24].

Без загрози продовольчій безпеці та експортному потенціалу держави можна близько 10 млн га земель сільськогосподарського призначення використовувати для вирощування енергетичних культур із подальшою їх переробкою на біопалива, задля забезпечення енергетичної незалежності агропромислового комплексу України [25, 26].

В умовах військових дій та відмови від постачання енергоносіїв із Білорусії та росії, найбільш оперативним рішенням є використання наявного аграрного потенціалу зернових культур для біоенергетики. У короткостроковій перспективі збільшення видобутку природного газу та нафти в Україні неможливе. Використання прогресивних та адаптивних технологій вирощування кукурудзи з подальшою переробкою на біопаливо займатиме менший часовий проміжок ніж нарощення обсягів видобутку нафти та природного газу. Розвиток передових технологій вирощування та переробки кукурудзи на біопаливо є стратегічно необхідною складовою забезпечення енергонезалежності України [4, 5, 27, 28].

До основних переваг рослинної біомаси як джерела енергії можна віднести екологічну чистоту викидів, порівняно з викопними видами палива, відсутність негативного впливу на баланс вуглекислого газу в атмосфері. Під час згорання біопалива на основі рослинної біомаси в атмосферу викидається менше вуглекислого газу, ніж поглинається рослинами в процесі фотосинтезу, утворюється в 20–30 разів менше оксиду сірки і в 3–4 рази менше золи порівняно з вугіллям. Побічним продуктом у процесі виробництва рідкого та газоподібного біопалива та в результаті згорання твердого біопалива є органічна речовина, яку можна використовувати в якості добрив [29].

Розвиток біоенергетики в Україні з огляду наявності трудових, матеріальних та земельних ресурсів є ідеальним. На думку провідних вчених

нашої країни, найперспективніші енергетичні культури для виробництва біоетанолу – кукурудза і цукровий буряк, а для біодизельного палива – соняшник, соя, ріпак [10, 30, 31].

Одним із резервів енергетичної незалежності є, за умови підвищення урожайності, виробництво із зерна кукурудзи біоетанолу. Потенційні можливості цього напряму величезні: тільки завдяки переробці 10 млн. тон кукурудзи Україна може виробляти не менше 4 млн. тон цього біопалива. Впродовж останнього півстоліття посівні площі під кукурудзою зросли в 1,6 рази, врожайність – в 3 рази, а валові збори зерна – в 4,8 рази [14, 32, 33]. Цінні властивості кукурудзи викликають її стабільно високий попит на світовому та внутрішньому ринках [34–36].

Варто відмітити, що Україна володіє значними обсягами земельних ресурсів для ведення сільськогосподарського виробництва і здатна не лише забезпечити власні потреби в продовольстві, але й вирощувати енергетичні культури для подальшої переробки на біопаливо [37, 38].

Важлива роль у фітоенергетиці для отримання біоетанолу відводиться саме кукурудзі, оскільки у світовій практиці, у тому числі й в Україні, кукурудзу використовують як універсальну культуру – на корм худобі, для продовольчих і технічних потреб – виробництва круп і борошна, харчового крохмалю та рослинної олії, меду й цукру, декстрину та етилового спирту тощо. Це одна з найпоширеніших сільськогосподарських культур, з якої отримують біля 250 видів продуктів [39–41].

В найближчій перспективі за рахунок сприятливих ґрунтово-кліматичних умов для вирощування та використання продуктів фотосинтезу рослин в державі покриватиметься до 10 % всіх енерговитрат [7, 29].

Ґрунтово-кліматичні умови більшості регіонів України є сприятливими для вирощування енергетичних рослин групи C4 типу фотосинтезу, в тому числі і кукурудзи, здатних інтенсивно накопичувати енергію сонця впродовж періоду вегетації. Ці рослини характеризуються низькою собівартістю вирощування, не вимогливі до родючості ґрунту, потребують незначного

використання добрив та пестицидів, запобігають ерозії ґрунту, сприяють збереженню та покращенню агроєкосистем [7, 42, 43].

Сьогодні точиться чимало дискусій щодо заміни бензину та дизпалива іншими енергоносіями, зокрема етанолом і дизпаливом, які отримуються з сировини рослинного походження (біоетанол та біодизельне пальне). Останнє десятиріччя ознаменувалось значним посиленням уваги до пошуку та розвитку ефективних шляхів використання біологічних ресурсів як продуцентів або джерел отримання поновлюваної енергії (біопалив). Ще одним стимулом для розвитку новітніх технологій біоенергоконверсії є потенційна можливість зменшення викидів у атмосферу вуглекислого газу за розширення споживання біоетанолу та біодизелю, покращення властивостей пального за рахунок біологічних домішок [29, 42].

1.2 Вирощування кукурудзи на зерно для біоенергетичних та кормових цілей

Агрокліматичні умови території України неоднорідні, кожна зона має ґрунтові особливості, умови зволоження і температурний режим, які суттєво впливають на врожай і зумовлюють істотне варіювання як настання науково обґрунтованих строків сівби, так і тривалості вегетаційного періоду всіх біотипів кукурудзи та настання повної стиглості зерна [44].

Для повної реалізації біологічного потенціалу кукурудзи необхідне впровадження сучасних ефективних конкурентоспроможних технологій вирощування, які мають базуватися на доборі адаптованих для зони високопродуктивних гібридів, оптимізації умов макро- та мікроелементного живлення та застосування сучасних біостимуляторів росту та ін. [45–49].

Основою сучасної технології вирощування кукурудзи є впровадження біологічної системи землеробства, ґрунтозахисних і енергозберігаючих прийомів, які передбачають скорочення матеріальних, енергетичних, трудових і фінансових ресурсів у розрахунку на одиницю виробленої продукції [50].

В технологіях вирощування основним напрямом підвищення

продуктивності кукурудзи є створення оптимальних умов повітряного і мінерального живлення рослин, шляхом нормалізації кислотності ґрунту, раціональним використанням ґрунтової вологи і біогенних елементів [14, 52] та ефективне використання генетичного потенціалу гібридів кукурудзи [53–55], насіння високої якості [56–58].

В умовах глобальної зміни клімату продуктивність кукурудзи стає все більш нестабільною за роками, виникає потреба у створенні ефективніших технологічних моделей її вирощування [59]. Вирощування кукурудзи для виробництва біопалив вимагає значного внесення мінеральних добрив та засобів захисту рослин, тому такі технології вирощування є особливо енерговитратними і потребують суттєвого вдосконалення та не істотно відрізняється від технології вирощування продовольчої кукурудзи [4, 60, 61]. Крім того гібриди або сорти, які використовуються для енергетичних цілей, можуть бути трансгенними різновидами із спеціальними властивостями [14, 62, 63].

Використання кращих гібридів кукурудзи за продуктивністю та якістю сировини, стійкістю до шкідливих організмів і стресових явищ у різних ґрунтово-кліматичних зонах вирощування та рекомендації щодо впровадження їх у виробництво є найважливішими завданнями сучасного рослинництва [3, 55]. Для отримання крохмалю, а відповідно і етанолу, практичну цінність мають чотири підвиди кукурудзи крохмалистий (71,5–82,0 %), зубовидний (68,0–75,5 %), напівзубовидний (66,9–74,2 %) і кременистий (65,0–73,0 %) [3, 64, 65].

Моделі адаптивності, як загалом у рослинному і тваринному світі, так і в селекційних досягненнях кукурудзи, мають першочергове значення для поширення культивгенів у кліматичних зонах, зростання їх продуктивності та витривалості [34, 66, 67]. Потрібен диференційований підхід до виробничого використання гібридів відповідної групи технологічності зі специфічною адаптивністю до агроекологічних факторів [14, 68].

Впровадження у виробництво високопродуктивних гібридів кукурудзи

та концентрації її площ у спеціалізованих аграрних формуваннях супроводжується не лише збільшенням врожайності [69–71], а й низкою проблем. Особливу занепокоєність викликає погіршення загального фітосанітарного стану посівів, що визначається посиленням шкідливої дії хвороб та шкідників культури [72].

Недостатній адаптивний потенціал гібридів кукурудзи є не лише чинником зниження врожайності зерна, але й значної її варіабельності, особливо в несприятливих умовах [73–76]. За тривалістю вегетаційного періоду гібриди кукурудзи поділяються на сім груп з вегетаційним періодом від 85 до 150 діб. Кожен біотип повинен відповідати кліматичним умовам зони вирощування, забезпечувати високий врожай та надійне досягання [34].

Співвідношення між ранньо-, середньо- та пізньостиглими гібридами має змінюватись залежно від спеціалізації господарств, їх маркетингової спрямованості та економічної ситуації [62, 77]. Науковий підбір гібридів кукурудзи для використання зерна на біопаливо, що притаманні кожному конкретному регіону, знижуватимуть собівартість як крохмалю, так і самого біопалива [78].

Одним з вузьких місць яке обмежує швидкий розвиток виробництва біоетанолу із зерна кукурудзи є істотні затрати на сушіння. Але цю проблему можливо вирішувати селекційними програмами щодо створення високоврожайних гібридів кукурудзи із високим вмістом крохмалю у зерні та низькою передзбиральною вологістю зерна [79–81].

Реформування агропромислового сектору призвело до корегування структури посівних площ, наслідком якого є перехід до сівозмін короткої ротації з високим насиченням одновидовими або близькими за біологічними особливостями культурами [71, 82].

Кукурудза добре реагує на попередники за вирощування в сівозміні, але завдяки біологічним особливостям і підвищеній стійкості до монокультури її беззмінні посіви представляють виробничий та агрономічний інтерес [3, 4, 32, 50]. Її розміщують насамперед після озимих по чистих і зайнятих парах,

зернобобових, а також після просапних культур [47, 83, 84].

За істотного збільшення площі вирощування кукурудзи на протязі останніх п'яти років, розмітити її після найкращих та добрих попередників не можливо. В деяких випадках в агроформуваннях певну частку її посівів розміщують після соняшника, що істотно знижує як зернову продуктивність культури, так і валовий збір зерна в цілому. Особливо на рівень реалізації продуктивного потенціалу кукурудзи небажані попередники впливають в умовах недостатнього і нестійкого зволоження степової зони [85].

У комплексі зональних агротехнічних заходів вирощування кукурудзи важливе місце займають способи сівби і густота стояння рослин [62, 86]. Дуже важливо враховувати реакцію гібридів на загущеність посівів у конкретних ґрунтово-кліматичних умовах, оскільки саме цей чинник істотно впливає на рівень урожаю кукурудзи [87].

Густота рослин визначає ефективність використання родючості, температурного та водного режиму ґрунту, сонячної енергії та інших складових життєдіяльності агроценозу [88, 89]. В той же час єдиної думки відносно оптимальної густоти стояння рослин немає. Залежить цей показник як від кліматичних умов, так і від генотипу гібрида і в умовах України коливається від 40 до 90 тис. рослин/га [69, 90]. У посушливих степових районах кукурудзосіяння (середньорічна кількість опадів 350–400 мм) найбільш врожаї ранньостиглі і середньоранні гібриди кукурудзи забезпечують за густоти стояння рослин 45–60 тис. шт./га, в умовах нестійкого зволоження Лісостепу (400–500 мм) – 65–85 тис. шт./га і в районах Полісся, сприятливих за зволоженням (500–800 мм опадів і більше) – за густоти стояння 75–90 тис. шт./га [91, 92].

Кукурудза характеризується уповільненим ростом, слабо розвиненою кореневою системою і низьким коефіцієнтом водоспоживання на початку вегетації. Саме в цей період вона майже не реагує на загущення посівів, у подальшому густота стеблостою суттєво впливає на ріст, розвиток і продуктивність рослин кукурудзи [74, 93, 94].

Межі можливої мінливості розміру і конфігурації індивідуальної площі живлення обмежені, перш за все, вимогами самих рослин до екологічних факторів довкілля, необхідністю створення для них в посіві найбільш сприятливих умов вирощування, які забезпечують нормальний їх ріст, розвиток та високу продуктивність [86, 94, 95].

Підвищення густоти стеблостою гібридів кукурудзи супроводжується зростанням загальної площі листової поверхні, що стає перешкодою для надходженню ФАР, як результат – погіршення наливу зерна, збільшення кількості дрібних качанів та вилягання рослин, відкладання строків збирання в сторону більш пізніх, втрата врожаю [96].

У комплексі агротехнічних заходів, спрямованих на підвищення продуктивності кукурудзи та подальшої можливості переробки зерна на біоетанол, важливе місце займає обробіток ґрунту [47] і оптимізація надходження доступної вологи ґрунту [97, 98]. Для кукурудзи необхідний добре окультурений рихлий ґрунт, що забезпечує якісне розміщення насіння під час сівби й одержання дружніх сходів, а також гарантує безперешкодний розвиток кореневої системи в орному й підорному шарах [79].

Обробіток ґрунту впливає на поживний, температурний, водно-повітряний режими, прискорення або уповільнення ерозійних процесів, забур'яненість посівів, ураженість рослин хворобами і пошкодження шкідниками. Внесення хімічних засобів захисту рослин і підвищених доз органічних та мінеральних добрив дозволяє спростити обробіток, особливо на чистих від багаторічних бур'янів і легких за механічним складом родючих ґрунтах, де немає необхідності щорічно проводити відвальні та багаторазові поверхневі обробітки [99, 102, 103].

Оптимальний показник щільності ґрунту для кукурудзи повинен становити 1,15–1,25 г/см³. Надлишкове ущільнення негативно впливає на розвиток кореневої системи рослин, що призводить до зниження врожаїв [3, 5, 50].

Забезпечення рослин кукурудзи вологою однаково важливе як на

початку вегетації так і продовж наступних її етапів [98,]. Варто відмітити, що кукурудза також негативно переносить перезволоження ґрунту, при цьому її врожайність істотно знижується, у зв'язку з нестачею кисню в перезволоженому ґрунті сповільнюється надходження фосфору в корені, що погіршує білковий обмін [3, 98].

Основний обробіток ґрунту в агротехніці вирощування польових культур займає біля 40 % енергетичних і 25 % всіх трудових витрат [50]. У різних ґрунтово-кліматичних зонах України під кукурудзу застосовують осінній полицевий (оранка) та безполицевий (чизельний, плоскорізний, комбінований). У технологіях вирощування кукурудзи не рекомендується проводити весняний основний обробіток ґрунту, адже він викликає зневоднення орного шару, погіршення агрофізичного стану, особливо в степовій зоні, що зрештою позначиться на суттєвому зниженні продуктивності [47].

Застосування нульового та поверхневого обробітку ґрунту у технологіях вирощування кукурудзи сприяє більш економному використанню вологи. Формування шару мульчі за поверхневого обробітку ґрунту накопичує та зберігає вологу за рахунок подрібнених рослинних решток змішаних із ґрунтом, які запобігають надмірному випаровуванню [98, 104, 105].

Важливими факторами, які впливають на вибір систем або способів обробітку ґрунту під кукурудзу є тип ґрунту, погодно-кліматичні умови, рельєф місцевості, попередники та ступінь забур'яненості поля. А також біологічні особливості кукурудзи, адже, як відомо, вона має добре розвинену кореневу систему, яка поширюється рівномірно у всіх напрямках і локалізується в основному у шарі ґрунту 30–60 см, тому потребує за можливості глибокого обробітку ґрунту [3, 47].

Кукурудза має підвищені вимоги до аерації ґрунту, оптимальні параметри якої забезпечує традиційна глибока оранка (на 25–27 см) або енергоощадний безплужний чизельний обробіток [79, 106, 107].

Мінімізація обробітку ґрунту найбільш доцільна на родючих добре

удобрених ґрунтах, із хорошими агрофізичними властивостями, з глибоким кореневмісним шаром і високої культури землеробства, за обов'язкової умови застосування ефективних гербіцидів, виборі оптимальних гібридів і суворому дотриманні всіх агротехнічних вимог [47, 50].

Оптимальний обробіток ґрунту в поєднанні з інтенсивною системою захисту дозволяє збільшити урожайність кукурудзи на 3,26–4,93 т/га зерна [99].

Передпосівний обробіток ґрунту проводиться навесні для збереження сформованої структури, зменшення переущільнення, пересихання й розпилення. Він включає в себе боронування, шлейфування та культивацію [32, 44, 50].

Запізнення із проведенням передпосівного обробітку, особливо за відсутності опадів, гальмує проведення якісної сівби кукурудзи та істотно знижує її урожайність. Надмірно глибокий обробіток ґрунту навесні, особливо в степовій зоні, збільшує шпаруватість, що посилює його висушування, особливо за жаркої вітряної погоди. Тому глибина передпосівної культивації в усіх випадках повинна відповідати глибині загортання насіння. Порушення даної агроформи сприяє зависанню зерна кукурудзи в напівсухому прошарку ґрунту і зрідженості сходів. У разі посушливих умов глибину посіву можна дещо збільшувати [47].

Сівба якісним насінням є неодмінною агротехнічною умовою вирощування кукурудзи [108–111]. Ушкоджене насіння гірше проростає, що призводить до відставання рослин у рості та розвитку та зниження продуктивності [110]. Існує залежність продуктивності кукурудзи залежно від величини фракцій висіяного насіння, глибини його загортання, строків сівби та загушення посівів [112–114].

За правильного просторового та кількісного розподілу рослин кукурудзи на площі покращується фітосанітарний стан посівів, водний, повітряний та поживний режим ґрунту, створюються сприятливі умови для збільшення продуктивності культури [115, 116].

На сьогодні основним способом сівби кукурудзи в Україні є широкорядний – з шириною міжрядь 70 см, тоді як у США – 76,2 см. Відстань між рослинами в рядку залежить від норми висіву [45, 105]. Широкорядний спосіб сівби кукурудзи з міжряддями 70 см має суттєвий недолік – скупчене розміщення рослин в рядках, що посилює конкуренцію між ними за вологу, світло, поживні речовини вже на початку вегетації кукурудзи і обмежує можливість підвищення її врожайності [96, 117–119].

Можливість загущення посівів пов'язана зі структурою та морфологією рослини – еректоїдне або вертикальне розміщення листків, висота рослин, форма та інтенсивність розвитку кореневої системи [4, 32, 120].

Зміна форми площі живлення (за однієї густоти стояння рослин) практично не впливала на висоту рослин кукурудзи. В той же спосіб сівби і густота стояння рослин на площі впливали на елементи структури врожаю і врожайність зерна кукурудзи. Вищу озерненість качана залежно від способу сівби – 558 шт. зерен мали рослини кукурудзи за традиційного пунктирного способу сівби (70 см), з шириною міжрядь до 45 і 30 см середня кількість сформованих зерен на качані зменшувалася на 6 і 8 шт. відповідно [86].

Зменшення ширини міжрядь позитивно впливає на такі структурні показники, як довжина качанів, їх середня вага та кількість зерен на качані і навпаки, збільшення густоти рослин призводить до їх зменшення. У посівах з шириною міжрядь 45 см кількість продуктивних качанів зменшується відносно рослин, які були посіяні з міжряддям 70 см. Зменшення ширини міжрядь позитивно впливає на збільшення врожаю зерна, а збільшення густоти рослин призводить до його зменшення [121].

За рахунок біологічного пригнічення бур'янів та більш ефективного використання енергії сонця (ФАР) в посівах кукурудзи з міжряддями до 35 см можливо одержати вищий врожай зерна кукурудзи, ніж за вирощування цієї культури з міжряддями 70 см [122].

Кукурудза це типовий представник теплолюбивих культур, для нормального проростання насіння температура ґрунту на глибині загортання

насіння має становити +10–12 °С, що орієнтовно припадає на кінець квітня-початок травня. Ранні строки сівби сприяють недружньому повільному проростанню та появі сходів, які характеризуються недорозвиненим та ослабленим виглядом [47]. Про важливість врахування строків сівби гібридів кукурудзи для отримання максимальної продуктивності відмічають у своїх дослідженнях ряд авторів [123–126].

Наступним елементом технології є догляд за посівами, який має створювати сприятливі умови для одержання дружних сходів кукурудзи, давати змогу утримувати посіви в чистому від бур'янів стані, а також зберегти вологу в посівному і орному шарі ґрунту. Інтенсивна технологія вирощування кукурудзи на фоні ґрунтових і післясходових гербіцидів передбачає скорочення кількості механічних прийомів догляду, а на чистих полях – їх повне виключення. Проте висока потенційна засміченість ґрунту насінням різних термінів проростання, стійкість окремих видів бур'янів до хімічних препаратів вимагає поєднання механічних і хімічних заходів догляду за посівами. Для боротьби із шкідниками та хворобами кукурудзи використовуються хімічні, фізичні, механічні та біологічні методи боротьби [44, 50, 79].

Дослідженнями В. М. Судака, А. І. Горбатенко, В. Л. Матюхи, А. О. Кулик [127] встановлена пряма залежність між фітосанітарним станом агроценозу і кількістю використаної продуктивної вологи рослинами кукурудзи з шару ґрунту 0–150 см в період сівба – збирання врожаю. Витрати її на абсолютно чистих посівах становили 156 мм, ділянках без видалення бур'янів – 203, за застосування гербіцидів – 168–171 мм. Повне або часткове контролювання забур'яненості посівів дає можливість заощадити 320–470 м³/га вологозапасів.

Значне зниження внесення органічних добрив, вирощування кукурудзи в сівозмінах з короткою ротацією без бобових культур, а то і в монокультурі передбачає перегляд систем удобрення, обробітку ґрунту, захисту від бур'янів, хвороб та шкідників [9]. В таких умовах складаються оптимальні умови для

розвитку певних груп шкідників, хвороб та бур'янів, які негативно впливають на отримання високого врожаю зерна відповідної якості [79, 128–130].

Бур'яни створюють найбільшу потенційну загрозу формуванню врожаю зерна кукурудзи [131–133]. Як і обробіток ґрунту, боротьба із бур'янами дозволяє оптимізувати рівень вологості ґрунтів та доступність її для рослин кукурудзи [98, 134]. Між бур'янами і кукурудзою існує гостра конкуренція за обмежені запаси продуктивної вологи у ґрунті, особливо в посушливі роки [127, 135, 136]. Зниження урожайності зерна кукурудзи за високої забур'яненості може становити 30–80 % [137], тому що бур'яни додатково виносять з ґрунту понад 60–80 кг/га поживних речовин і 800–1000 т/га води [138–140].

Кукурудза вважається слабким конкурентом бур'янів в агрофітоценозах, тому для отримання високих врожаїв потребує додаткового догляду [32, 141]. Вона не реагує на забур'яненість лише протягом перших 10 днів після сходів, а потім якщо бур'яни не знищувати, то врожайність зерна різко знижується (від 11 до 66 %). Критичний період конкурентних відносин, коли бур'яни сильно пригнічують культуру і суттєво знижують її врожайність, триває 60 днів від моменту появи сходів, а найбільш негативного впливу бур'яниста рослинність завдає протягом від 30 до 40 днів (так звана критична фаза конкурентних відносин) [50].

Якщо з якоїсь причини не було внесено ґрунтові гербіциди або через погодні особливості (обов'язковою умовою ефективності їх дії є наявність у верхньому шарі ґрунту достатньої кількості вологи), їх дія буде незначною, необхідно вносити страхові гербіциди. Вважається, що оптимального гербіцидного ефекту досягають за їх застосування у фазі 3–6 листків кукурудзи [42, 142].

Хоча широкий асортимент високоефективних гербіцидів дозволяє виключити всі механічні прийоми післяпосівної боротьби з бур'янистою рослинністю в посівах кукурудзи. Застосування гербіцидів дає можливість виконати роботи зі знищення бур'янів своєчасно, швидко і на великих площах.

Для раціонального та ефективного використання гербіцидів у посівах кукурудзи економічний поріг шкодочинності становить 10 штук бур'янів на 1 м² [50, 143]. Неправильне застосування гербіцидів може значно знижувати врожайність кукурудзи [141].

Останніми роками в Україні, за рахунок погіршення фітосанітарного стану агроценозів, спостерігається різке збільшення рівня чисельності та розширення зон шкодочинності основних хвороб та шкідників [144]. Негативна діяльність шкідників та збудників хвороб, зумовлює не лише зниження врожаю зерна чи силосної маси, а й погіршення їх якості.

Кукурудза в порівнянні із іншими зерновими культурами менше уражується хворобами [145–147]. На протязі вегетаційного періоду та навіть під час зберігання кукурудзу уражує більше 100 видів грибів і бактерій, деякі вірусні та мікоплазмові хвороби [148]. Більшість хвороб кукурудзи викликаються грибами, менше – бактеріями та вірусами [149, 150].

За останні 10–15 років, в умовах глобальних змін клімату та агротехнічних прийомів вирощування, структура хвороб суттєво змінилася. Найпоширенішими хворобами для більшості регіонів вирощування кукурудзи є пухирчаста і летюча сажки [147, 151], іржа, нігроспоріоз, гельмінтоспоріоз, диплодіоз, хвороби зерна під час зберігання і хвороби сходів [152, 153], пліснявіння насіння, фузаріоз качанів, бактеріоз, стеблові та кореневі гнилі [153–156].

Шкідники можуть бути і переносниками збудників хвороб, а осередки пошкоджень – місцями інфекції [145, 157–159]. Найбільшої шкоди посівам кукурудзи на території України завдають багатоїдні шкідники (різні види коваликів – темний, посівний, смугастий та інші; чорниші – мідляк кукурудзяний, широкогрудий, кукурудзяний стебловий метелик; різні види совок; попелиці – звичайна злакова, соргова або кукурудзяна, волохата (кукурудзяна) [160, 161], західний кукурудзяний жук, сірий довгоносик [161].

В перший період вегетації значної шкоди сходам кукурудзи завдають ґрунтові шкідники (несправжні дротяники, дротяники, личинки хрущів,

гусениці підгризаючих совок) [162–164]. В умовах затяжної холодної весни шкодочинність ґрунтових шкідників зростає. Після фази 5–8 листків і до кінця вегетації найбільшої шкоди посівам кукурудзи завдають бавовникова совка, попелиці та стебловий кукурудзяний метелик, які пошкоджують стебло та качани [158, 165, 166].

Урожайність кукурудзи, формується за впливу цілого комплексу абіотичних та біотичних факторів, серед яких значимим є фактор системи удобрення [167]. Добрива є одним з найефективніших засобів впливу на урожайність і якість зерна кукурудзи (*Zea mays* L.) [85, 168, 169]. Інтенсивні технології вирощування сучасних сортів і гібридів кукурудзи, які формують врожайність зерна в межах 10–12 т/га передбачають додаткову потребу в елементах живлення NPK [69, 170–172].

Використання мінеральних добрив і меліорантів, а для підтримки сприятливого фітосанітарного стану посівів – використання пестицидів є суттєвим резервом зростання врожайності кукурудзи. За різними оцінками на дію добрив припадає 30–50 % приросту врожайності кукурудзи [85, 173].

Оптимізація системи удобрення дає змогу регулювати енергетичні потоки в системі ґрунт-рослина, визначає ефективність трансформації енергії в кінцеву врожайність, впливає на обсяги накопичення енергії у ґрунті. За оптимізації структури сівозмін енергетична ефективність добрив значно зростає, що дає змогу досягти енергетичного балансу за мінімальних енергетичних витрат [174, 175].

Кукурудза досить вимоглива до підвищеного мінерального живлення і, як культура тривалого вегетаційного періоду, здатна засвоювати поживні речовини впродовж всього життєвого циклу. На формування 1 т зерна з відповідною кількістю листостеблової маси кукурудза використовує із ґрунту та добрив, в середньому, 24–32 кг азоту, 10–14 кг фосфору та 25–35 кг калію, по 6–10 кг магнію і кальцію, 3–4 кг сірки, 11 г бору, 14 г міді, 110 г марганцю, 0,9 г молібдену, 85 г цинку, 200 г заліза. Таку кількість поживних речовин в доступних рослинам формах, навіть за високого рівня родючості, ґрунт не в

зможі забезпечити. Тому добрива лишаються одним із найвпливовіших факторів підвищення врожайності культури [44, 167, 176, 177].

Відсутність збалансованої системи удобрення кукурудзи на зерно, особливо в умовах Полісся, де переважають дерново-підзолисті ґрунти, в умовах виробництва лише на 45–65 % дозволяє реалізувати потенціал продуктивності сучасного гібрида [178].

Внесення мінеральних сприяє збільшенню вмісту протеїну в зерні гібридів кукурудзи до контролю (без добрив) відповідно на 0,92 і 0,91 % у ранньостиглих і 1,01 і 1,08 % – у середньоранніх [179].

Застосування добрив, особливо в значних нормах, може змінювати кількість здатних до розчинення мінеральних солей в ґрунті, тим самим збільшуючи електропровідність, що може мати і негативний вплив на врожайність кукурудзи [180–183].

Орієнтовні норми внесення мінеральних добрив наступні: у Степу – $N_{60-90}P_{60}K_{35-40}$, Лісостепу – $N_{120}P_{90}K_{90}$, Поліссі і західних областях – $N_{90-130}P_{90-100}K_{90-100}$. Крім цього вносять органічні добрива, зокрема, гній в Лісостепу та Поліссі в нормативному обсязі 30–40 т/га, в Степу – 20–30 т/га [45, 167, 184]. Також в якості органічних добрив застосовують солому і післяжнивні рештки для поліпшення гумусового стану ґрунту [185]. Найбільш ефективним є сумісне внесення мінеральних і органічних добрив.

Фактично ж, в середньому, кожен гектар отримує 111 кг мінеральної поживних елементів та 0,5 т/га органічних добрив [184, 186].

Дослідженнями А. В. Бикіна, О. В. Тарасенко [187] встановлений вплив мінеральних добрив на вологозабезпечення рослин кукурудзи за прямої сівби і традиційного обробітку ґрунту. Запаси вологи протягом вегетації культури за цих умов істотно не відрізнялися, проте ефективність їх використання зростала прямо пропорційно до норми мінеральних добрив.

Внесення мінеральних добрив позитивно впливає на вміст білка в зерні кукурудзи. Під впливом добрив, особливо азотних, вміст білка зростав від 7,1 до 7,8 %. Використання гною з аналогічними дозами мінеральних добрив

сприяло підвищенню вмісту білка в зерні до 7,6 %, у варіанті без добрив (контроль) він становив 6,4 % [188].

Азот має безпосередній вплив на вміст крохмалю в зернах злакових культур. Високий вихід біоетанолу обернено пропорційний вмісту азоту в зернах, тобто низький рівень запасу азоту в зернах (тобто білку) є показником високого вмісту крохмалю. У разі вирощування гібридів кукурудзи для переробки на біоетанолу, норми внесення азотних добрив мають бути відрегульовані відповідно до біологічних особливостей гібриду. У таких системах удобрення азотні добрива мають вноситись в початкові періоди росту, пізніє підживлення азотом виключається, для того щоб уникнути збільшення вмісту білка в зерні [9, 189–192].

Вміст водорозчинних сполук фосфору особливо необхідний у період наливу зерна, оскільки це значною мірою визначає масу зернівки і якість зерна, зокрема накопичення у зерні крохмалю [176, 178, 193, 194].

Оптимальне забезпечення рослин фосфором і калієм збільшує стійкість кукурудзи до термічного стресу і нестачі води, поліпшує амінокислотний склад білка. Фосфор і магній сприяють кращому виповненню зерна, забезпечують рівномірне і швидше досягання урожаю [194, 195]. Слід також відмітити, що через велику потребу удобрених рослин кукурудзи в ґрунтовій волозі в дуже посушливі роки врожай зерна може знижуватись, порівняно із неудобреними посівами [50].

Поряд з макроелементами (N, P, K) у формуванні зернової продуктивності кукурудзи важливу роль у процесах росту, розвитку рослин, фотосинтетичної діяльності посівів відіграють мікроелементи (B, Cu, Fe, Mn, Zn, Mo). Потреба в цих елементах невелика, однак вони дуже необхідні для росту і розвитку рослин [85, 168, 169].

У сучасних агротехнологіях застосування мікродобрив для допосівної обробки насіння або позакореневих підживлень є невід'ємною складовою в забезпеченні збалансованого живлення рослин, створення умов для максимальної реалізації потенціалу продуктивності гібридами кукурудзи [196–

199].

Роль мікроелементів у мінеральному живленні рослин як складової ферментативних систем – біокаталізаторів важко переоцінити. Оскільки орні землі в Україні мають низький вміст рухомих форм цинку (близько 0,20 мг/кг), міді (1,5–1,9 мг/кг), бору (0,3–0,5 мг/кг), тому на кукурудзі рекомендується застосовувати у критичні фази росту та розвитку (у фазі 3–5 листків та 6–8 листків) мікродобрива [195, 197].

Серед мікроелементів для кукурудзи важливе місце займає цинк. Потреба в цинку особливо зростає за високого вмісту в ґрунті гумусу, рухомих сполук фосфору, за нейтрального та лужного ґрунтового середовища, холодної та вологої погоди. За значної нестачі цинку рослини кукурудзи сповільнюють ріст через скорочення міжвузлів, знижується озерненість качанів або ж вони взагалі не зав'язуються [75, 200].

Застосування комплексних сполук цинку з ароматичними та гетероциклічними тіоамідами підвищує лабораторну схожість насіння кукурудзи з 73 до 82 %, енергію проростання – з 80 до 84 %, рістрегулююча активність, що визначалася за масою паростків зростає у 1,09–1,20 рази порівняно з контрольним зразком [201, 202].

Згідно даних ряду авторів [198, 203, 204] застосування дворазового позакореневого підживлення кукурудзи у фазі 5–7 та 10–12 листків цинковмістним мікродобривом збільшує лінійні розміри рослин, загальну площу листової поверхні, площі верхнього «прапорцевого» та прикачанного листків. Разом з тим, вони відмічали найвище значення довжини качана, зростання маси 1000 зерен на 7,5–12,4 %, вмісту білка – на 0,07–0,15 %, але знижувався вміст жиру – на 0,01–0,20 %.

Регулятори росту рослин прискорюють ріст і розвиток кореневої системи й листової поверхні рослин, збільшують стійкість до високих плюсових температур, зменшують негативний вплив та дію важких металів [50, 79].

Інокуляція насіння кукурудзи Біограном у поєднанні із використанням невисоких доз кальцію забезпечує урожайність на рівні 8,9 т/га, що вище

контролю на 1,1 т/га [52].

Кукурудза, внаслідок особливостей росту і розвитку, має певні вимоги до забезпечення поживними речовинами. Споживання поживних речовин молодою слаборозвиненою кореневою системою незначне – внесені під оранку основні добрива ще недоступні, а отримати у повному обсязі необхідні поживні речовини з добрив, внесених перед посівом, молода рослина кукурудзи також не здатна. Нестача елементів живлення в цей період (від сходів до 7–9-го листка) у подальшому не компенсується, тому що саме у цей час формується стебло, коренева система та генеративні органи, що визначають врожайність [79].

Позакореневі підживлення особливо ефективні в роки з несприятливими погодними умовами [196, 205, 206]. У стресових ситуаціях (посуха, низькі температури тощо) позакореневе підживлення є практично єдиним способом забезпечення рослин деякими елементами живлення, особливо мікроелементами [35].

У складних умовах розвитку аграрного бізнесу в Україні мікродобрива нерідко стають вирішальним чинником конкурентної боротьби. Це зумовлено впливом мікроелементів на рослини, а саме: підвищенням врожайності, що в середньому становить 5–20 % для промислових культур, покращенням якісних показників продукції, здатністю виводити рослини зі стресу, викликаного дією засобів захисту рослин та іншими несприятливими факторами довкілля [207].

Поживні речовини нанесені на листок рослини за допомогою обприскувачів, поглинаються, проходять той же шлях синтезу, що і елементи, які надходили в рослину через кореневу систему, але у 5–8 разів швидше. Позитивний результат від позакореневого підживлення може бути помітним уже через 1–3 дні, а інколи і через кілька годин. З іншої сторони, мікроелементи, що містяться у ґрунті, входять до складу різних сполук, більша частина яких представлена нерозчинними або важкорозчинними формами і лише незначна – рухомими формами, які можуть засвоюватися рослинами [9].

У застосуванні мікродобрив потрібно звертати увагу на збалансування їх

за набором мікроелементів та мезоелементів, які за складом відповідають поживним вимогам кукурудзи – це перш за все наявність цинку, сірки, бору та марганцю [9, 42, 205].

Реакція ґрунтового розчину є одним з основних показників рівня родючості ґрунту майже для всіх сільськогосподарських культур, оскільки є інтегральним показником цілого комплексу його властивостей: вміст доступних для рослин рухомих форм поживних речовин та мікроелементів, рухомість алюмінію, накопичення якого у великій кількості (особливо на сильно- та середньокислих ґрунтах) може негативно впливати на ріст і розвиток більшості культур, призводити до зниження урожайності на 20–50 % [208].

Досягти підвищення урожайності кукурудзи можливо лише шляхом агрохімічної меліорації кислих ґрунтів. Проблемі вапнування кислих ґрунтів присвячено багато публікацій, де наводять оптимальні інтервали значень рН ґрунтового розчину, за яких відбувається зниження врожайності кукурудзи. У разі рН менш ніж 4,6 недоодержуємо близько 25 % зерна, 4,6–5,0 орієнтовно 16 %, 5,1–5,5 біля 9 % [209].

Заключним елементом технології є збирання врожаю. Кукурудзу на зерно збирають за вологості зерна від 20 до 35–40 %. Збирання врожаю культури без обмолоту качанів розпочинають за вологості зерна не більше 40 %, а з обмолотом – при 30 %. За більшої вологості погіршується обмолот, травмується зерно, знижується продуктивність комбайнів [44, 45]. Тривалість збирання одного гібриду не повинна перевищувати 5–7 днів, запізнення призводить до істотних втрат врожаю [4, 44, 42].

1.3. Особливості використання кукурудзи та інших біоенергетичних культур для виробництва біоетанолу

Аграрний сектор швидкими темпами стає виробником енергії із біомаси, тому що майже 65 % енергії з відновлюваних джерел можливо сформувавши за рахунок продукції сільськогосподарського походження. Потенціал біомаси

України доступної для енергетичного використання оцінюється у 27 млн. т умовного палива в рік [210, 211]. Шляхом залучення цього потенціалу до виробництва енергії, можна задовольнити близько 9–13 % потреби України в первинній енергії [212].

У Європі головними основними енергетичними культурами для виробництва етанолу в помірній кліматичній зоні вважаються рослини з великим вмістом цукру та крохмалю – зернові, картопля, цукрові буряки, кукурудза на зерно [24, 29], у Північній Америці – кукурудза і пшениця, а в Південній Америці – цукровий очерет. В США близько 40% урожаю кукурудзи (130 млн тон на рік) перероблюється для отримання біоетанолу [113, 176].

Основним видом сировини для виробництва біоетанолу в Європі є зерно кукурудзи – з нього отримується близько 50 % загального обсягу біопалива. Частка передового біоетанолу (з лігноцелюлозної та подібних видів сировини) становить лише біля 8 % [22, 213]. Значення зерна кукурудзи для виробництва біоетанолу істотно посилюється у періоди стрімкого зростання світових цін на традиційні види палива [214].

Кукурудза – одна з найважливіших культур у світі, тропічного походження з фіксацією вуглецю С₄. За короткий час кукурудза виробляє більше органічної речовини, ніж інші культури. У 2019 році Національна асоціація виробників кукурудзи США оголосила про світовий рекорд у Вірджинії близько 38,7 т/га (616,2 бушелів/акр) кукурудзи на зерно [4, 215].

В Україні кукурудза забезпечує основну частину валових обсягів зерна. Зерно та зелена маса її широко використовується для переробки на біопаливо [24, 85, 214], першого та другого покоління, для виробництва біогазу [215, 216] та олії [4, 42].

З точки зору агротехніки вона добре очищує ґрунт від бур'янів та є гарним попередником у сівозміні для більшості сільськогосподарських культур. За поглинанням вуглекислого газу й виділенням кисню кукурудза займає одне з перших місць серед всіх культурних рослин і є навіть ефективнішою, ніж ліс аналогічної площі [5, 79, 216]. Вирощування кукурудзи

на зерно дозволяє оптимізувати використання сільськогосподарської техніки за рахунок більш пізніх строків посіву і збирання.

Переваги кукурудзи полягають також у можливості тривалого збирання без втрат (до одного місяця) та відсутності вилягання на високому фоні внесених добрив або родючих ґрунтах [14].

Краща якість зерна кормового та продовольчого напрямку з умістом протеїну понад 10 % формується за внесення високих доз мінеральних добрив, а для енергетичних цілей – у варіантах без добрив та за внесення побічної продукції попередника за вмісту крохмалю понад 73 % [40, 64, 217]. Перевищення вмісту протеїну в зерні більше 10 % слугує індикатором низької якості крохмалю у зв'язку з утворенням крохмальних гранул великих розмірів та недоцільності переробки такого зерна на біоетанол [217, 218].

Площа кукурудзяного клину в Україні у 2019 р. становила 4,9 млн га, або 17,5 % структури посівних площ [4, 42], а в 2021 році склали 5,5 млн. га та в 2022 році через агресію Росії істотно зменшилась до 4,267 млн. га [4, 179]. Україна здатна за такої площі посіву вирощувати біля 25 млн. тон зерна кукурудзи.

Кукурудза поміж іншими зерновими культурами має перевагу за біологічним потенціалом продуктивності, виходом біоетанолу на одиницю затраченої сировини та прибутковістю. Окрім того технологія вирощування кукурудзи менш витратна порівняно із іншими культурами, а її зернова урожайність досить висока [35, 131, 219].

Вихід етанолу залежить не лише від кількісного вмісту крохмалю в зерні, а й від інших чинників, які формують якісну характеристику крохмалю за його ферментабільністю. Щоб урахувати загальний вплив цих чинників на ферментабільність крохмалю, необхідно використовувати крім виходу етанолу з 1 т збіжжя, вихід етанолу з 1 т крохмалю [64].

Чинниками впливу на ферментабільність крохмалю можуть бути:

- а) хімічний склад крохмалю (співвідношення амілоза/амілопектин);
- б) гранулометрія крохмалю (лінійний розмір крохмальних гранул і

співвідношення гранул за розмірами); в) характер упаковки високополімерних молекул крохмалю в крохмальній гранулі [64, 220, 221].

Середній вихід біоетанолу (100 % етанолу) з різних сільськогосподарських культур становить: кукурудза 370–470 л/т, ячмінь – 240–380 л/т, пшениця – 340–445 л/т [4, 182], жито та озиме тритикале – 280–428 л/т, просо – 390 л/т, сориз – 464 л/т, картопля – 90–140 л/т, цукровий буряк – 100 л/т [64, 222].

Вихід біоетанолу відрізняється в залежності від технології, що використовують: при «сухому» помелі з 1 тони кукурудзи отримують 401 л біоетанолу, 325 кг сухої барди; при «вологодому» помелі з 1 тонни кукурудзи отримують 28 кг олії, 241 кг глютенного корму, 47 кг глютенного борошна, 580 кг крохмалю, з якого отримують 386 л етанолу [223].

Для виробництва 1,0 т біоетанолу необхідно 0,64 га пшениці або 0,47 га кукурудзи [224], 1 л біоетанолу – 0,79 кг [216].

Головний критерій вибору сировини для біоетанолу – це доступність та наявність для переробки 365 днів на рік. Виходячи із того, що вартість сировини складає 70–80 % собівартості етанолу, а доступність сировини визначає прибутковість виробництва [13, 28, 213]. Враховуючи, що для переробки кукурудзу можна не сушити, це може зменшити ціну сировини [28].

Біоетанол – етиловий спирт (етанол), який отримується шляхом переробки рослинної сировини, що містить крохмаль (кукурудза, зернові, картопля, цукрові буряки [23, 222], виноград, плоди та інші) [213], який спочатку перетворюють у цукор, потім у процесі бродіння цукор перетворюється в спирт, після чого розчин піддають очищенню та випаровуванню [6, 176].

Крохмаль зерна – це основний продукт, який під дією гідролітичних ферментів трансформується в етанол (з 1 кг крохмалю можна отримати 0,530 кг або 0,680 л спирту етилового) [62, 225].

На відміну від спирту, з якого виробляються алкогольні напої, паливний етанол (октанове число становить 105) не містить води (містить не менше 99 %

етилового спирту) і виробляється укороченою дистиляцією (дві ректифікаційні колони замість п'яти), тому містить метанол і сивушні масла [23, 226, 227]. Присутність в дистиляті навіть 4 % води викликає розшарування спирто-бензинової суміші [213]. Крім біоетанолу, в технологічному процесі виробництва, також отримують цінну кормову добавку – барду (або висівки – високобілкові добавки, які йдуть на корми тваринам) і вуглекислий газ [23, 28].

Перші спроби використати спирт як паливо припадають на 1890 – дитячі роки автомобілізму. «Справжнім дивом» називали паризькі газети початку ХХ ст. автобуси, що працювали на електрині – суміші спирту з бензолом [213].

Сучасне виробництво рідкого біопалива на основі цукроносних і крохмалистих культур (у разі етанолу) і олійних культур (у разі біодизеля) зазвичай називають виробництвом біопалива першого покоління. Друге покоління розроблюваних технологій може також зробити можливим використання лігноцелюлозної біомаси, яка більш стійка до розщеплення, ніж крохмаль, цукор і масло [12, 228].

Сучасна промислова технологія отримання етилового спирту з харчової сировини складається з таких стадій [213]: підготовки й подрібнення цукро-або крохмалевмісної сировини; ферментування – розщеплення крохмалю до спирту під впливом дріжджових ферментів; ректифікування браги (розділення, засноване на різних температурах кипіння її компонентів).

За даними ФАО та ОЕСР, світове виробництво біоетанолу перевищило 100 млрд літрів (80 млн т) [23, 213], виробництвом біоетанолу в світі займається 575 заводів [81, 213]

Найбільш успішними виробниками біоетанолу в світі є США, де отримується 54,3–58,0 % біоетанолу, Бразилія (26,0–33,7 % світового виробництва), Китай (2,8–3,0 %), Канада (1,8–2,0 %), країни ЄС (Франція, Німеччина та Іспанія) – 5 % [13, 22, 23, 210], Таїланд (2 %), Аргентина (1 %), Індія (1 %) [227].

Україна, до 2010 року була крупним виробником харчового спирту. Річна сумарна потужність спиртових заводів становила близько 500–700 млн. літрів

[6].

Сумарна виробнича потужність біоетанолу в Україні може становити близько 200 тис тон на рік (5 % від всього виду палив), але, у 2013–2014 роках виробництво його було практично знищене (до 42 тис. тон на рік, у 2016 році, тобто близько 1 % всього палива) [4, 33, 43]. Станом на 2022 рік в Україні повноцінно працює близько 5 біоетанольних заводів на різній сировині, які продають його до Європи [28].

В 2022 році ціна біоетанолу в Роттердамі становила 1264 євро за поточної ціни 147 євро з ПДВ на кукурудзу і ціні на газ 26 тис. грн. Виробнича собівартість біоетанолу без податків – 435 євро [28].

На відміну від інших енергоносіїв при згоранні біоетанолу виділяється в 10 раз менше вуглекислого газу, ніж за згорання бензину. Біоетанол не токсичний, розчиняється у воді і не забруднює ґрунтові води. Протягом 25–30 днів він практично повністю розпадається й не завдає екологічної шкоди, тоді як один кілограм мінеральних нафтопродуктів може забруднити майже мільйон літрів питної води, знищуючи в ній всю флору й фауну. Також рослини здатні поглинати газ, що виділяється при його спалюванні [222].

Біоетанол володіє нульовим балансом діоксиду вуглецю, оскільки при його виробництві шляхом бродіння і подальшого згорання виділяється стільки ж CO₂, скільки до цього було взято з атмосфери рослинами для його виробництва. Те, що міститься в етанолі кисень, дозволяє більш повно спалювати вуглеводні палива. 10 % вміст етанолу в бензині дозволяє скоротити вихлопи аерозольних часток до 50 %, викиди CO – на 30 % [226]. Паливний еквівалент 1 л етанолу становить 0,65–0,66 л бензину [222].

Виробництво біоетанолу популяризується необхідністю додавання не менше 5 % його до обсягу бензину відповідно до європейських нормативів. Щоб отримати таку кількість біоетанолу необхідно щорічно переробляти 1,6 млн. т. зернових культур [43, 81, 219].

Встановлено що вихід біоетанолу залежність від ряду чинників, тобто використання середньостиглих гібридів кукурудзи забезпечує додатковий

вихід біоетанолу на рівні 0,588–1,008 тис. л/га порівняно із скоростиглими формами, запізнення із строками сівби гібридів кукурудзи призводить до зменшення виходу біоетанолу на 0,640–0,847 тис. л/га порівняно з раннім строком сівби, застосування позакореневих підживлень забезпечує зростання виходу біоетанолу на 0,1–1,04 тис. л/га [229]. У 2015 році, який видався досить посушливим вихід біоетанолу, в середньому, у досліджуваних гібридів кукурудзи склав 3,622 тис л/га, в 2016 році – 4,494 тис. л/га, а в 2017 році – 4,230 тис. л/га [33, 229].

На орієнтовний вихід біоетанолу впливала фракція насіння, зокрема вихід біоетанолу за сівби насінням дрібної фракції становив 3,41 тис. л/га, середньої фракції – 3,81 тис. л/га, а за сівби насінням великої фракції – 3,84 тис. л/га. Використання не глибокого (4–5 см) загортання насіння сприяло виходу біоетанолу – 3,697 тис. л/га, за використання середньої (7–8 см) глибини загортання – 3,713 тис. л/га, а за використання глибокого (10–11 см) загортання – 3,648 тис. л/га [229].

Крохмаль зерна більшості зернових культур зазвичай складається в середньому з 20–25 % амілози (лінійний полімер глюкози) і 70–75 % амілопектину (розгалужений полімер глюкози) [64, 220, 221].

Висока ферментабельність зерна не може бути результатом випадкового збігу неконтрольованих чинників. Ця ознака може створюватись у процесі цілеспрямованого комбінування чинників позитивного впливу на ферментабельність, цілеспрямованої селекції генотипів з високою ферментабельністю зерна і створення на цій основі спеціальних сортів (гібридів) спирто-дистилятного напрямку технологічного використання [64].

Зерно кукурудзи має високий вміст крохмалю (60–85 %). Крохмаль який міститься в зерні, спочатку розкладається до цукру, потім цей цукор у процесі бродіння перетворюється в алкоголь, після чого розчин піддають очищенню та випаровуванню [176].

Проведення сівби у ранні строки, за рахунок високої врожайності, сприяло найвищому виходу крохмалю (7,372 т/га) порівняно із середнім (6,714

т/га) та пізнім (5,953 т/га) строками сівби [230].

На те що вміст крохмалю зростає за пізніх строків сівби вказує в своїх дослідженнях Ю.М. Пащенко та О.І. Кордін [231], при цьому різниця між першим і третім строками сівби за вмістом крохмалю може становити від 0,8 до 2,0 % за загального його вмісту в зерні 68,0–72,8 %.

Хімічний склад зерна кукурудзи може значно змінюватися залежно від умов вирощування: за високих температур накопичення білка більш інтенсивне, пізньостиглі форми в посушливі роки мають у зерні більшу його кількість [40, 179, 232, 233]. Кукурудзи відрізняється від інших зернових культур меншим вмістом протеїну, більшим вмістом жиру й помітно меншим – клітковини. Протеїн кукурудзи невисокої якості через незначний вміст критичних амінокислот – лізину й триптофану [40].

Висновки до розділу 1:

Вивчення особливостей вирощування гібридів та використання зерна кукурудзи в якості сировини для отримання біоетанолу в умовах різних агрокліматичних зонах України має не лише наукову, а й практичну цінність. Численними дослідженнями доведено можливість використання різних видів сировини для отримання біоетанолу, в тому числі і зерна кукурудзи, збільшення обсягів вирощування кукурудзи за рахунок оптимізації елементів сучасної технології вирощування, вплив агротехнічних заходів на формування урожаю та якості зерна кукурудзи.

Отже, аналіз літературних джерел свідчить про те, що для можливості переробки зерна кукурудзи на біоетанол необхідно збільшити потенціал зернової продуктивності та валові збори та провести дослідження ряду питань, які на даний момент часу неповністю вивчені, а саме:

- встановити особливості росту й розвитку кукурудзи та формування урожаю зерна, залежно від застосування елементів технології вирощування, а саме: способів сівби та використання макро- та мікроелементів;
- провести дослідження якісних показників зерна кукурудзи, з метою

визначення можливості переробки його на біоетанол залежно від досліджуваних факторів;

- встановити вплив способів сівби та системи удобрення на особливості накопичення крохмалю у зерні досліджуваних гібридів кукурудзи.

Тому встановлення закономірностей росту, розвитку і формування продуктивності рослин кукурудзи в зв'язку зі способами розміщення їх на площі за оптимізації живлення, безперечно, представляє теоретичний і практичний інтерес, а крохмалю налагодять масове виробництво та споживання біопалива в нашій державі. різні твердження вітчизняних та зарубіжних вчених з окремих питань продуктивності гібридів та якості зерна, підтверджують актуальність та необхідність подальших досліджень з даної проблеми.

РОЗДІЛ 2

УМОВИ, МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Ґрунтово-кліматичні умови проведення досліджень

Дослідження проводилися в 2021–2023 рр. в умовах дослідного поля Навчально-виробничого центру (НВЦ) Білоцерківського національного аграрного університету Київської області, яке розташоване в Правобережному Лісостепу України. Регіон досліджень характеризується помірно-континентальним кліматом із достатньою кількістю температурних режимів та опадів.

Ґрунт дослідних ділянок – чорнозем типовий вилугуваний, середньоглибокий, малогумусний, грубопилувато-легкосуглинковий на карбонатному лесі. Орний шар ґрунту за фракційними складом представлений: крупний пил 49,8–58,2 %, фізична глина – 30,5–34,2 %, мул – 18,6–24,21 % і пісок – 9,8–19,1 %.

За агрохімічною характеристикою, ґрунт містить 3,4 % гумусу (за методом Тюріна і Кононової), азоту, що легко гідролізується 85–115 мг/кг ґрунту (за методом Корнфільда), рухомих сполук фосфору і калію відповідно 130–160 і 120–130 мг/кг ґрунту (за методом Чирикова). У ґрунті відмічено середню здатність нітрифікації – 2,0–3,3 мг/100 г абсолютно сухого ґрунту. Валова забезпеченість рухомими сполуками фосфору (P_2O_5) і калію (K_2O) є середньою – відповідно 0,05 і 1,41 %.

Глибина гумусового горизонту 55–61 см, карбонати Ca і Mg залягають на глибині 52–66 см. Гідролітична кислотність становить 1,4–1,8 мг-екв./100г ґрунту (за методом Капена). Реакція ґрунтового розчину є близькою до нейтральної – 6,4–6,8. Ємність поглинання ґрунту – 24–27 мг-екв./100 г. Уміст Ca складає 16,3–22,0 мг-екв. на 100 г ґрунту. Вміст Mg становить всього 2,39–4,00 мг-екв./100 г ґрунту.

У цілому ґрунт дослідної ділянки за своїми водно-фізичними, хімічними

властивостями і агрохімічною характеристикою є придатним для вирощування високих і стабільних урожаїв кукурудзи.

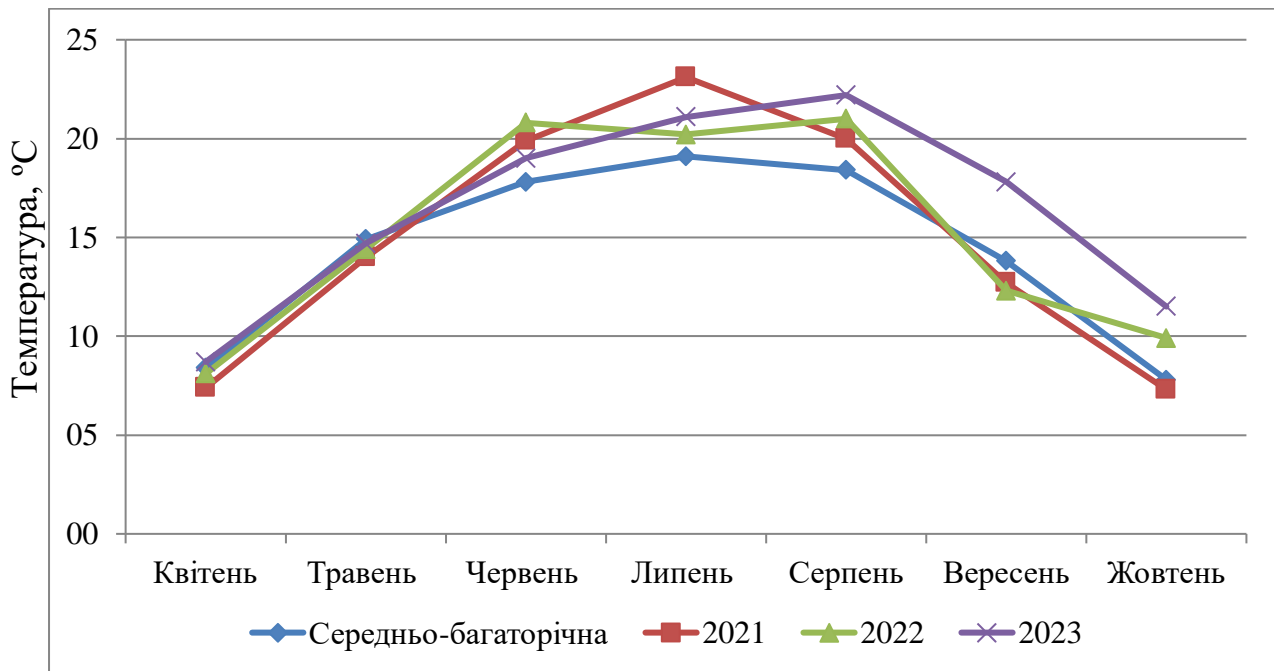
За даними Білоцерківської метеостанції, середньорічна температура повітря складає + 8 °С із відхиленнями за роками від 4 до 7 °С. Максимальна температура влітку досягає +36–38 °С, а мінімальна температура взимку становить – 24 °С. Упродовж вегетації рослин кукурудзи, в основному, створюються сприятливі умови для їх росту і розвитку. Тривалість вегетаційного періоду коливається в межах 90–160 днів. Сума позитивних температур вище +10 °С знаходиться у межах 2650–2660 °С. Річні значення відносної вологості повітря становлять у середньому 75–77 %; у літній період вони зменшуються до 48–50 %, а взимку зростають до 80–85 %.

2.2 Характеристика погодних умов за роками проведених досліджень

Згідно з даними агрометеорологічних спостережень Білоцерківської метеостанції, основні показники кліматичних умов у роки проведення досліджень не були близькими до середніх багаторічних даних (рис. 2.1, додаток А1).

У 2021 році в квітні спостерігалася нестійка, прохолодна з пониженням нічної температури до мінусових значень. Протягом місяця спостерігалася випадання мокрого снігу та дощу. Температурні значення подекадно коливалися в межах 5,9–8,3 °С. На протязі місяця випало 28,9 мм опадів, що на 18,1 мм менше середньо-багаторічного значення. В третій декаді квітня спостерігали істотне зниження температурних показників через арктичний циклон, що відобразилося у появі нічних заморозків на поверхні ґрунту із 24 по 28 квітня. На початку травня відбулося поступове підвищення температурних режимів, але прослідковувалась нерівномірність розподілу опадів. В першій декаді травня спостерігали зниження температурних показників в нічні години доби, до 0–3 °С. Середня температура травня склала 14,0 °С, що на 0,9 °С нижче від норми. Також варто відмітити відхилення температурних показників протягом травня від багаторічних значень.

Температура повітря, °С



Кількість опадів, мм

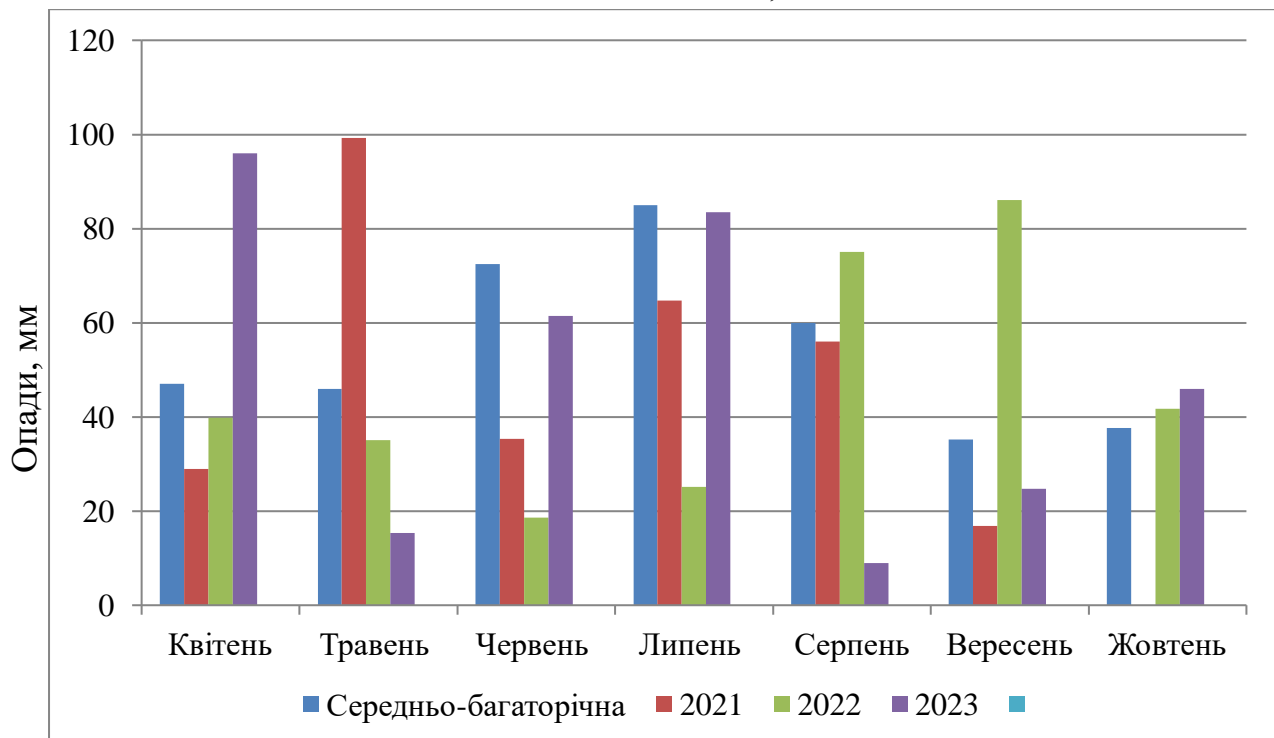


Рис. 2.1. Характеристика метеорологічних умов за роки досліджень

В другій декаді травня спостерігалися опади у вигляді гроз, місцями граду. Сума опадів за місяць становила 99,3 мм, або на 53,3 мм вище за норму. В червні середньомісячна температура повітря становила 19,9 °С, що на 2,1 °С більше за норму. При цьому із підвищенням температури повітря зростала і

відносна вологість. За червень місяць випало 35,3 мм опадів, або на 37,2 мм менше від норми. Впродовж місяця спостерігалися періоди із зростанням температурних показників вище +30 °С. Липень характеризувався випаданням 64,7 мм опадів, що на 20,3 мм менше за норму та середньомісячним значенням температурних показників на рівні 23,1 °С, що на 4 °С вище за норму. В першій декаді липня спостерігалася суха та жарка погода. В другій декаді прослідковувався вплив атмосферного фронту із заходу, який обумовив зниження температурних показників і випадання опадів. В третій декаді липня спостерігалася значне коливання температурних показників та випадання інтенсивних опадів. В серпні спостерігалися істотні коливання температурних режимів із нерівномірним розподілом опадів. В другій декаді за рахунок циклону відбулося зниження середньодобових температур. Сума опадів за місяць становила 56,0 мм, середньомісячна температура – 20,0 °С. В цей період у рослин кукурудзи відбувалося досягання зерна. Вересень характеризувався прохолодною погодою, із мінімальним значенням температурних режимів 5–6 вересня до 3–5 °С. Починаючи із третьої декади місяця спостерігалася перенасичення повітря вологою і випадання туману. Сума опадів становила – 16,8 мм, а середньомісячна температура – 12,7 °С. В жовтні місяці спостерігалися значні позитивні температури, які в межах декад становили 7,1–7,5 °С. В цілому погодні умови в цей місяць характеризувалися сухою погодою із нічними заморозками. За місяць не випадали опади, а середньомісячна температура склала 7,3 °С, що на 0,5 °С менше середньобагаторічного значення.

У 2022 році в температура повітря, в середньому за вегетаційний період кукурудзи, склала 15,2 °С, що на 0,9 °С більше середньобагаторічного значення. Кількість опадів за вегетацію склала 321,6 мм, або 61,7 мм менше від середньобагаторічного показника. Квітень характеризувався сонячною та сухою погодою із поступовим зростанням добових температур із 7,0 °С на початку місяця до 10,8 °С в кінці місяця. Сума опадів за місяць становила 39,8 мм, або на 7,2 мм менше в норми. Опади випадали найбільш інтенсивно в

першій та третій декаді місяця, а друга декада характеризувалася зменшенням кількості опадів (7,2 мм). В третій декаді квітня відбувалися істотні коливання температурних режимів. В травні місяці середньомісячна температура (14,4 °С) наближалася до середньорічної норми (14,9 °С). Сума опадів за місяць склала 35,1 мм, або на 10,9 мм менше від норми. Протягом місяця спостерігалася помірно тепла погода із випаданням опадів.

В червні середньомісячна температура склала 20,8 °С, або на 3 °С вище норми. Сума опадів складала 18,6 мм, за норми 72,5 мм. В першій та другій декаді відмічалася значне скорочення кількості опадів, в порівнянні із третьою декадою місяця (14,6 мм). У липні місяці також спостерігалася жарка погода з високим температурними показниками (20,2 °С) та із збільшенням кількості опадів до 64,7 мм. На протязі місяця спостерігалися сильні дощі та шквали. У другій декаді липня кількість опадів була найвищою і становила 30,0 мм, за норми 21,3 мм. Серпень виявився із найвищими показниками температурного режиму, протягом якого температура перевищувала вище +30 °С. Середньомісячна температура склала 21,0 °С, що на 2,6 °С вище норми. Кількість опадів за місяць становила 75,1 мм, за норми 60 мм, при чому в першу декаду місяця випало 34,6 мм, в другу – 40,5 мм, а в третій взагалі опадів не було. В третій декаді серпні спостерігали жарку погоду без істотних опадів. Рослини кукурудзи в дану декаду втрачали тургор та не сформували повноцінних репродуктивних органів.

Упродовж вересня місяця відбулося зниження середньомісячної температури до 12,3 °С, а сума опадів склала – 86,1 мм, що на 50,9 мм вище за норму. В нічні години у вересні відмічалася поява заморозків на ґрунті. У жовтні відмічалася не типове для даного місяця значення температурного режиму, яке коливалося в межах 8,4–11,4 °С. Сума опадів за жовтень склала 41,7 мм, що на 4,1 мм вище за норму.

У 2023 році квітень характеризувався помірно теплою погодою, температура повітря склала 8,7 °С, а сума опадів була найвищою за роки досліджень і становила 96 мм. Найбільша кількість опадів (61,5 мм) випала в

першу декаду місяця, що і в кінцевому результаті вплинуло на проведення сівби кукурудзи із перенесенням їх у більш пізній період.

В травні місяці значення температурного режиму склало 14,7 °С, а кількість опадів становила 15,4 мм, або на 30,6 мм менше від норми. Відсутність достатньої кількості опадів в даний період вплинуло і на рівномірність отримання сходів кукурудзи. Атмосферні процеси в другій та третій декаді травня сприяли істотному підвищенню температурного режиму порівняно з попереднім періодом. У червні відмічене істотне зростання температурного режиму у третій декаді місяця – 20,1 °С, за середнього значення місячної температури 19,0 °С. Сума опадів за червень склала 61,4 мм. В третій декаді місяця випала найбільша кількість опадів – 43,0 мм, тоді як в другій декаді вона становила 1,8 мм, а в першій 16,6 мм. Протягом першої та другої декад червня утримувалася жарка з невеликими опадами погода.

В липні середньомісячна температура склала 21,1 °С, а кількість опадів – 83,5 мм. Випадання значної кількості опадів було рівномірним за декадами. Липень місяць характеризувався теплою та жаркою погодою із значною кількістю опадів, що в кінцевому результаті вплинуло на формування продуктивності кукурудзи та розвиток шкочинних об'єктів на її посівах. Максимальне підвищення температури місцями досягало +31–34 °С тепла але було нетривалим.

Серпень характеризувався теплою та жаркою погодою, яка змінювалася різкими зниженнями температури в першій декаді місяця. 7–8 серпня пройшли невеликі, місцями помірні дощі з грозами та посиленням вітру не досягаючи небезпечних значень.

Дефіцит вологи в ґрунті у поєднанні з високими температурами повітря призводили до денного в'янення пізніх культур в тих районах де випала незначна кількість опадів. У кукурудзи відмічено формування качанів та молочну стиглість зерна. Максимальне значення температури повітря відмічено в другій декаді місяця і становило +33–36 °С. Сума опадів за місяць склала 9 мм, що на 51,0 мм менше від норми.

Погодні умови вересня були сприятливими для проведення збиральних робіт зернових та технічних культур. Розподіл опадів був нерівномірний. Відносна вологість повітря становила 64–71 %, при нормі 72–75 %. В третій декаді вересня високі середньодобові температури повітря свідчили про продовження тривалості метеорологічного літа. Мінімальна температура на поверхні ґрунту опускалася до +6–10 °С тепла. Середньомісячна температура становила 17,8 °С, а кількість опадів – 24,7 мм, що на 10,5 мм нижче від норми (35,2 мм).

1 жовтня намітився перехід середньодобової температури через +15 °С в бік зниження, що свідчить про початок метеорологічної осені. В другій декаді осені випадали, дощі, температурний режим характеризувався появою заморозків на поверхні ґрунту. В третій декаді жовтня спостерігалася неоднорідна погода – від дуже теплої, сонячної до прохолодної та дощової. У найтепліший день 21 жовтня максимальна температура повітря досягала позначки 26–30°С тепла, що перевищувало абсолютний максимум. Середньомісячна температура склала 11,5 °С, а кількість опадів 46 мм.

Отже, агрометеорологічні умови за 2021–2023 рр. в основному відповідали біологічним особливостям рослин кукурудзи, що дозволило сформувати досить високу урожайність зерна. Різні роки за погодними умовами дозволили зробити більш повний аналіз впливу досліджуваних чинників на продуктивність та вихід біоетанолу.

2.3 Схеми досліду і методика проведення досліджень

Дослідження з вивчення впливу способів сівби та системи удобрення і позакореневих підживлень на рослинах гібридів кукурудзи різних груп стиглості виконували в 2021–2023 рр. на базі Навчально-виробничого центру (НВЦ) Білоцерківського національного аграрного університету.

Дослідження за темою дисертаційної роботи передбачало закладання двох дослідів. В досліді 1 вивчали вплив способів сівби гібридів кукурудзи на комплекс господарсько-цінних ознак які визначають продуктивність гібридів і

нагромадження крохмалю у зерні та вихід біостанолу.

Дослід 1. Формування продуктивності гібридів кукурудзи залежно від способу сівби (2021–2023 рр.)

№ з/п	Фактор А. Гібриди кукурудзи	Фактор В. Спосіб сівби (схема)
1	СИ Талісман (ФАО 200)	70 см (контроль)
2	СИ Фотон (ФАО 260)	20,3×76,2 см
3	НК Термо (ФАО 330)	20,3×91,4 см
4	СИ Зефір (ФАО 430)	20,3×96,5 см

Сівбу кукурудзи здійснювали в першій декаді травня 8-рядною сівалкою Great Plains (УР-825А-16TR), укомплектованою стандартними одинарними рядками або інноваційною конструкцією зі здвоєними рядками з міжряддям 76,2; 91,4; 96,5 або 101,6 см. Сівалка УР-825А-16TR може висівати кукурудзу здвоєними рядами із відстанню 20 см між рядами та 70 см між центрами здоєних рядів. У сусідніх рядах насіння розміщується в шаховому порядку (зміщене одне відносно другого). За норми висіву 79 тис. насінин/га відстань між насінинами у ряду становить 33,3 см, що втричі збільшує зону живлення коренів рослин порівняно з традиційним міжряддям (70 см). Облікова площа дослідної ділянки становила 38,6 м². Повторність триразова.

З метою вивчення впливу застосування макро- та мікродобрих на ріст і розвиток рослин продуктивність кукурудзи було проведено дослід 2.

Дослід 2. Вплив застосування аміачної селітри і мікродобрих на продуктивність кукурудзи (2021–2023 рр.)

Гібрид	Варіант удобрення
СИ Зефір (ФАО 430)	1. Без внесення добрив (контроль)
	2. N ₄₀ перед сівбою
	3. N ₄₀ перед сівбою + Нутривант Плюс Кукурудза
	4. N ₄₀ перед сівбою + Вуксал Р Мах
	5. N ₄₀ перед сівбою + Розалік Zn, P, N, S.

Використовувався гібрид кукурудзи СИ Зефір (ФАО 430). Облікова площа ділянок становила 38,6 м². Повторність триразова.

В якості азотних добрив використовували аміачну селітру із вмістом азоту 34,6 %. Норма внесення мікродобрива Нутривант Плюс Кукурудза становила 3 кг/га, Вуксал Р Мах – 2 л/га, Розалік Zn, P, N, S – 3 л/га. Норма витрати робочого розчину 300 л/га. Позакореневі підживлення проводили за температури повітря не більше 25 °С, щоб не викликати опіків оброблюваних рослин.

Фенологічними спостереженнями встановлювали час настання фаз розвитку рослин, а саме таких як: сходи, викидання та цвітіння волотей, цвітіння качанів (появи тичинкових ниток) та повної стиглості зерна [234–238]. За початок фази вважали час, коли 10 % рослин вступили в або іншу фазу розвитку, а за 75 % рослин – настання повної фази.

Визначення лінійних промірів рослин проводили відповідно до загальноприйнятих методик для кукурудзи [234–235]. За допомогою біометричної та морфологічної діагностики і фенологічних спостережень встановлювали зміни росту й розвитку рослин, пов'язані з утворенням органів – листків, стебел, качана, за методиками [239–241]. Біометричні вимірювання проводилися на 10 рослинах з ділянки.

Площу асиміляційної поверхні досліджуваного гібриду кукурудзи СИ Зефір (ФАО 430) визначали за параметрами листка за формулою (2.1) [33, 176, 242]:

$$S=0,75 \times a \times b$$

де, S – загальна площа листків проби, см²;

0,75 – перерахунковий коефіцієнт для кукурудзи;

a – довжина листка, см;

b – ширина листка у найширшому місці, см.

Встановлювали площу лише у фізіологічно повноцінних листків. Кількість відібраних рослин – 10, в дворазовому повторенні.

Фотосинтетичний потенціал розраховували за формулою А. А. Нечипоровича (2.2):

$$\Phi\Pi = \frac{(L_1+L_2)*n_1+(L_2+L_3)*n_2\dots(L_{n-1}+L_n)*n_n}{2} \quad (2.2)$$

де, $\Phi\Pi$ – фотосинтетичний потенціал, м²/га, × діб;

$L_1, L_2, L_3 \dots L_n$ – площа листків на 1 га посіву у відповідні строки визначення, м²/га;

$n_1, n^2 \dots n_n$ – кількість днів між двома відповідними визначеннями.

Визначення елементів структури врожаю (по 10 качанах у кожному повторенні), в тому числі і продуктивності гібридів кукурудзи проводили у відповідності до Методики державного сортовипробування сільськогосподарських культур (зернові, круп'яні та зернобобові) [234] та Методики проведення польових дослідів з кукурудзою [206, 235].

Для визначення маси 1000 зерен відбирали дві проби по 500 зерен у кожній [240]. Фактичну вагу 1000 зерен приводили до прийнятого відсотка вологості.

Вологість зерна визначали за допомогою автоматичного вологоміра «Wile – 55» (виробництво Farmcomp Фінляндія).

Визначення вмісту крохмалю проводили в акредитованій Випробувальній лабораторії ДП «Київоблстандартметрологія» (м. Біла церква), за допомогою поляриметричного методу (за Еверсом). Даний метод використовується для зернових і круп'яних культур. Метод ґрунтується на перетворенні крохмалю в цукор безпосереднім гідролізом соляною кислотою та на здатності продуктів гідролізу повертати площину поляризації в певному напрямку й на певну величину [243–245].

Уміст крохмалю в зерні кукурудзи на абсолютно суху речовину визначали із точністю до 0,01 % за формулою (2.3):

$$\text{Вміст крохмалю (\%)} = \frac{a \times K \times 100}{100 - b} \quad (2.3)$$

де: a – середній показник цукроміра; K – коефіцієнт Еверса (1,898) (залежить від виду крохмалю); b – гігроскопічна вода, % [243, 244].

Вміст білку також визначали у даній лабораторії методом К`ельдаля [246].

Для здійснення попарного порівняння відібраних критеріїв оцінювання щодо їх важливості за використання зерна кукурудзи для виготовлення біоетанолу використовували методичні рекомендації Білоцерківського національного аграрного університету [237].

Збирання врожаю проводили в ручну з кожної ділянки досліду з наступним зважуванням і перерахунком на стандартну вологість зерна. Облік урожаю кукурудзи з облікової площі проводили згідно методики державного сортовипробування с.-г. культур (зернові, круп'яні та зернобобові) В.В. Волкодава [234] та за методикою розробленою для кукурудзи [235].

Біологічну урожайність кукурудзи визначали за формулою (2.4) [247]:

$$Уб = \frac{М \times Ч}{1000000} \quad (2.4)$$

де, М – маса зерна з 1 продуктивного качана;

Ч – число продуктивних качанів з 1 га, шт.

Вихід біоетанолу із зерна розраховували як вихід етанолу – його кількість, що отримують з тони вуглеводів в перерахунку на крохмаль. Теоретичний вихід обчислюють за рівнянням спиртного бродіння: $C_6H_{12}O_6 = 2C_2H_5OH + 2CO_2$.

Із 100 кг гексоз утворюється 51,14 кг безводного етанолу і 48,86 кг діоксину вуглецю. При відносній густоті етанолу $d_{420} = 0,78927$ його теоретичний вихід становить 64,79 л [248].

Економічна оцінка одержаних результатів проведена відповідно до загальноприйнятих методик, розроблених в ННЦ «Інститут аграрної економіки» та інших науково-дослідних установах [249, 250].

Енергетичну ефективність агротехнологій розраховували за методикою О.К. Медведовського [60]. Оцінку агротехнологій проводили за коефіцієнтом енергетичної ефективності (K_{ee}) – це відношення енергоємності врожаю до енергії технологічних витрат на його отримання.

Математичну обробку отриманих результатів досліджень проводили методом дисперсійного аналізу за допомогою пакету комп'ютерних програм

Agrostat [236, 238, 251], Statistica 12.0.

2.4. Агротехніка в досліді

Агротехніка вирощування, за винятком факторів, які поставлені на вивчення – загальноприйнята для культури в цій зоні.

Попередник – озима пшениця. Після збирання попередника проводили лущення стерні на глибину 6–8 см і основний обробіток ґрунту (оранку) – на 25–27 см. Весняний обробіток ґрунту розпочинали з боронування з подальшим проведенням двох культивацій: першої – на глибину 10–12 см, другої (передпосівної) – на глибину загортання насіння.

Мінеральні добрива (аміачну селітру – 34,6 %) вносили під передпосівну культивацію з розрахунку N_{40} .

Строк сівби – оптимальний, в першій декаді травня 8-рядною сівалкою Great Plains (YP-825A-16TR) із різними способами сівби. Норма висіву насіння гібридів – 79 тис. схож. нас./га.

Бур'яни знищували шляхом застосовування комплексу агротехнічних (сівозміна, система основного обробітку ґрунту, післяпосівні прийоми знищення бур'янів) та хімічних (гербіцид Харнес 3 л/га) заходів, а при необхідності використовували страхові гербіциди, рекомендовані для цих культур.

Обробку насіння мікродобрива перед сівбою проводили за кілька днів до сівби кукурудзи.

Позакореневе підживлення рослин кукурудзи мікродобривам проводили у фазу розвитку 5–6 листків.

2.5 Характеристика досліджуваних гібридів кукурудзи та мікродобрив

В дослідженнях використовувалися чотири районованих гібриди кукурудзи компанії Сінгента (Syngenta) різних груп стиглості, характеристику яких приведено нижче.

СИ Талісман (ФАО 200) простий, ранньостиглий гібрид кукурудзи, кременисто-зубовидного підвиду. Оригіном даного гібриду є компанія Сінгента (Syngenta). Рекомендований для вирощування у зоні: Лісостепу, Степу та Полісся.

Призначений для вирощування на зерно та силос. Високоврожайний, потенційна урожайність становить 14–15 т/га. Вирощування даного гібриду в господарстві дозволяє отримувати ранній урожай зерна і високу продуктивність поживного силосу для тварин. Зерно даного гібриду придатне для виробництва круп.

Листки на рослині мають еректоїдний характер розміщення, що дозволяє підвищувати ефективність фотосинтетичної діяльності навіть в умовах загушення.

В зерні міститься 8,8–9,5 % білку та 72,1–74,1 % крохмалю. Рослини характеризуються ремонтантністю (Stay Green), добре реагують на високий фон мінерального живлення. Гібрид придатний для післязнівного посіву та здатний витримувати значне загушення.

Гібрид характеризується високою стійкістю до низьких температур (9 балів), вилягання (9 балів), посухостійкістю (8 балів), вологовіддачею в період наливу зерна (9 балів), високими темпами початкового росту (9 балів), стійкістю до корневих та стеблових гнилей (9 балів), пухирчастої сажки (9 балів). Толерантний до ураження гелмінтоспориозом та фузаріозом качана. За рахунок високої холодостійкості придатний для ранніх строків сівби (за температури ґрунту +6–7 °С на глибині загорання насіння, також витримує повторне вирощування (монокультуру). У технологіях вирощування даного гібриду не рекомендується застосовувати високі норми внесення гербіцидів групи сульфонілсечовина.

Рекомендована густина на період збирання: для зони достатнього вологозабезпечення – 70–80 тис. шт. /га, нестійкого зволоження – 60–70 тис. шт. /га та недостатнього – 45–55 тис. шт. /га.

СИ Фотон (ФАО 260) середньоранній, високоврожайний, зубовидний

гібрид кукурудзи. Оригіном якого є компанія Сінгента (Syngenta). Рекомендований для вирощування у зоні Полісся, Лісостепу та Степу.

Гібрид інтенсивного типу із швидкою вологовіддачею зерна в період дозрівання добре реагує на високий агрофон, здатний забезпечити високу окупність добрив в умовах застосування інтенсивної технології вирощування. Напрямок використання – зерно і силос. Характеризується еректоїдним типом розміщення листків на рослині, що дозволяє істотно підвищувати ефективність фотосинтетичної діяльності. Рослини характеризуються ремонтантністю (Stay Green).

Вміст білку в зерні становить 9,0–10,1 %, а крохмалю 71,8–73,1 %.

Гібрид має високу стійкість до основних хвороб (корневих та стеблових гнилей, пухирчастої сажки) (9 балів), холодостійкість (9 балів), посухостійкість (8 балів), вологовіддачу (9 балів), придатний для повторного вирощування на тому самому місці (монокультури). Сівбу насіння даного гібриду рекомендовано проводити в оптимально ранні терміни (за температури ґрунту +9–12 °С на глибині загорання насіння).

Рекомендована густина на період збирання: для зони достатнього вологозабезпечення – 70–80 тис. шт. /га, нестійкого зволоження – 60–70 тис. шт. /га та недостатнього – 45–55 тис. шт. /га.

НК Термо (ФАО 330) високоврожайний, середньостиглий гібрид кукурудзи, зубовидного підвиду, компанії Сінгента (Syngenta).

Придатний для вирощування у зоні Лісостепу та Степу України за традиційно та мінімальною технологіями. Потенційна урожайність 16,0 т/га, виробнича – 13,0 т/га.

Напрямок використання зерновий. Гібрид кукурудзи НК Термо характеризується високим і стабільним рівнем урожайності, швидкою вологовіддачею під час дозрівання зерна, холодостійкістю, придатний для вирощування на високому агрофоні, має високий коефіцієнт використання поживних речовин та високу стійкість до вилягання.

Середня висота рослин становить 260 см Маса 1000 насінин 318–320 г.

Вміст крохмалю в зерні 72,0–74,0 %.

Стійкий до ураження стебловими та кореневими гнилями, гельмінтоспоріозом, пухирчастою сажкою, іржею.

Рекомендована густина на період збирання: для зони нестійкого зволоження – 60–70 тис. шт. /га та недостатнього – 40–60 тис. шт. /га.

СИ Зефір (ФАО 430) простий середньопізній гібрид кукурудзи, зубовидного підвиду компанії Сінгента (Syngenta).

Напрямок використання зерновий. Рекомендовані зони вирощування: Лісостеп та Степ України. Гібрид має високий тип адаптивності «Артезіан».

Рослини характеризуються ремонтантністю (Stay Green), високим потенціалом врожайності і швидкою вологовіддачею в період дозрівання зерна, стійкі до вилягання (9 балів), високою стійкістю до посухи (9 балів), заморозків (8 балів). Толерантний до таких хвороб, як гельмінтоспоріоз, пухирчаста сажка, кореневі та стеблові гнилі.

Вміст крохмалю в зерні становить 72,0–74,0 %.

Рекомендована густина на період збирання: для зони нестійкого зволоження – 50–60 тис. шт. /га та недостатнього – 40–50 (70–80 на зрошені) тис. шт. /га.

Нутривант Плюс Кукурудза мікродобриво компанії ICL Fertilizers з прилипачем Фертівант. За фізичним станом це твердий кристалічний порошок жовтого кольору.

Таблиця 2.1

Хімічний склад мікродобрива Нутривант Плюс Кукурудза, %

№ з/п	Складники	Вміст
1	Азот загальний	6
2	Фосфор водорозчинний (P ₂ O ₅)	37
3	Калій (K ₂ O)	5,4
4	Магній (Mg)	4,8
5	Цинк (Zn)	3,4
6	Молібден (Mo)	0,002

Легкодоступні сполуки фосфору, які містяться у добриві, на ранніх етапах органогенезу кукурудзи активізують ріст і розвиток кореневої системи. Цинк бере участь у азотному обміні, активізує синтез амінокислоти триптофану та фітогормону ауксину, також бере участь у вуглеводному, жировому, фосфорному обмінах, синтезі хлорофілу, вітамінів В, Р, С та підвищує стійкість кукурудзи до заморозків. Найбільш оптимально застосовувати дане добриво у критичні за елементами живлення фази росту та розвитку (3–5, 6–8 листків – до викидання волоті).

Проведення підживлення посівів кукурудзи даним добривом сприяє підвищенню урожайності на 0,7–1,0 т/га та якісних показників зерна (вміст крохмалю та білку). За рахунок спеціального прилипача «Фертіванта» добриво не змивається опадами з поверхні листка рослини.

Вуксал Р Мах мікродобриво у вигляді високонцентрованої суспензії із високим вмістом фосфору та підвищеним цинку з ефектами кондиціонера води, рН – коректора, прилипача та сурфактанта.

Внесення мікродобрива сприяє росту та розвитку кореневої системи рослин на початкових етапах вегетації, а також зменшує негативні наслідки стресу викликаного дефіцитом цинку або фосфору.

Вуксал Р Мах сумісний з більшістю ЗЗР, тому може вноситись у бакових сумішах із пестицидами.

Таблиця 2.2

Хімічний склад мікродобрива Вуксал Р Мах, г/л

№	Складники	Вміст
1	Азот	150
2	Фосфор водорозчинний (P ₂ O ₅)	450
3	Бор (В)	0,29
4	Сірка (SO ₃)	5,25
5	Мідь (Cu)*	0,73
6	Залізо (Fe)*	1,45
7	Марганець (Mn)*	0,73
8	Цинк (Zn)*	15
9	Молібден (Mo)	0,014

Примітка: * – катіони металів Cu, Fe, Mn, Zn повністю хелатовані EDTA.

Розалік Zn, P, N, S рідке цинквмістне мікродобриво широкого спектру дії для обробки насіння та позакоренових підживлень. На кукурудзі застосовується у фазу 3–5 листків. До складу даного добрива входять як мікроелементи (цинк Zn (у хелатній формі EDTA): 80 г/л або 5,9%) так і макроелементи (азот – N (амідний): 41 г/л або 3%, сірка – SO₃ (оксиду сірки): 72 г/л або 5,3%, фосфор – P₂O₅ (оксид фосфору): 258 г/л або 19%), рН добрива знаходиться в межах 1,9–2,5. Дозволяється змішувати з більшістю загальнопоширених ЗЗР.

Внесення даного мікродобрива покращує наростання кореневої системи, зменшує дефіцит цинку та фосфору, сприяє синтезу ауксинів, зменшує вплив низьких температур на засвоєння рослиною кукурудзи фосфору.

Висновки до розділу 2:

1. Дослідження за темою дисертаційної роботи здійснювалися впродовж 2021–2023 рр. на чорноземах типових вилугуваних в умовах Правобережного Лісостепу, що є придатними для вирощування кукурудзи на зерно і здатні забезпечувати високу та стабільну зернову продуктивність кукурудзи з урахування технологічних прийомів, які зазначені у схемі дослідів.

2. Гідротермічні умови у роки досліджень значно різнилися у порівнянні з середньобагаторічними даними, як за рівнем температури, так і за сумою опадів. Варто відмітити, що за період досліджень рівень зволоження значно варіював за кількістю та нерівномірністю опадів упродовж вегетаційного періоду кукурудзи, що вплинуло в кінцевому результаті на величину урожайності конкретний рік.

3. Схема досліджень включала два досліді (двофакторний та однофакторний) та методика їх проведення є логічними і відповідають робочим гіпотезам. Програмою досліджень передбачено значну і достатню кількість обліків та аналізів, спостережень, які дозволять у повній мірі всебічно і глибоко розкрити вплив досліджуваних факторів на врожайність зерна кукурудзи та його якісного складу.

4. У дослідженнях використовувались гібриди кукурудзи різних груп стиглості, які включені до Державного Реєстру сортів рослин і рекомендовані для використання в Україні в умовах Правобережного Лісостепу України.

5. Для експериментального дослідження використовувалися технологічні прийоми вирощування, які відповідно до робочої гіпотези, забезпечують найсуттєвіший вплив на продуктивність зернової кукурудзи. Дотримання вимог методики досліджень, аналіз економічної ефективності, статистична обробка дозволяють зробити достовірну оцінку даних та обґрунтовані висновки.

РОЗДІЛ 3

ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ КУКУРУДЗИ ЗАЛЕЖНО ВІД СПОСОБУ СІВБИ

3.1 Зміна тривалості міжфазних періодів рослин кукурудзи під впливом способу сівби

Правильний вибір гібридів кукурудзи із найбільш оптимальною тривалістю вегетаційного періоду в подальшому буде забезпечувати значну частку приросту врожаю. Тривалість вегетаційного періоду це одна із найбільш важливих господарсько-цінних ознак, яка не лише впливає на продуктивність але і визначає можливість вирощування гібриду в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах. Тривалість окремих міжфазних періодів та вегетаційного періоду в цілому залежить не лише від біологічних особливостей гібриду але й може змінюватися під впливом навколишнього середовища та елементів технології.

В науковій літературі термін «вегетаційний період» розуміється, як біологічне поняття, що включає період від початку сходів (проростання) до збирання врожаю (повної стиглості) [4, 32]. Подовження або скорочення даних періодів, безпосередньо, покращує або зменшує тривалість поглинання рослинами фотосинтетично активної радіації (ФАР), доступних елементів живлення та вологи.

Елементами технології вирощування можна погіршити або поліпшити умови життя рослини шляхом застосування тих або інших технологічних заходів. У зв'язку із цим вивчення впливу комплексу чинників на ріст та розвиток кукурудзи представляє практичну зацікавленість та теоретичну цінність у процесі вирощування.

Дослідженнями Ю. О. Лавриненко та ін. [252] встановлений вплив генетичних особливостей та гідротермічних умов конкретного року на тривалість вегетації рослин кукурудзи.

О. О. Андрієнко та ін. [253] та В. Д. Паламарчук і О. М. Колісник [3] відмічають, що одержання максимального рівня урожайності гібридів кукурудзи, це дуже складний і витратний процес з ретельним дотриманням технологічної хронологічності, важливе місце в якому відіграє група стиглості, яка визначається тривалістю вегетаційного періоду.

Дослідженнями ряду науковців [253, 254] відмічена важливість вивчення інтенсивності процесів формування урожайності, диференціації фенологічних та біометричних параметрів агрофітоценозів за рахунок елементів технології, в тому числі і способів сівби та густоти стояння.

Гібриди кукурудзи із різною тривалістю вегетаційного періоду характеризуються і різною стійкістю до шкочочинних об'єктів, адаптивністю, показниками структури врожаю та урожайністю [3, 42]. Товаровиробники на основі класифікації гібридів кукурудзи за групами стиглості мають можливість визначати доцільність вирощування того чи іншого гібриду [4]. Вивчення питань формування генеративних та вегетативних органів у кукурудзи в продовж вегетаційного періоду дозволить ефективно оптимізувати продуктивність кукурудзи [43, 126]. На основі характеристики вегетаційного періоду можна оцінити потребу в елементах живлення рослин на протязі росту і розвитку [43, 126].

В дослідженнях В. Д. Паламарчук та ін. [4, 33] вказана важливість тривалості вегетації для формування високої продуктивності кукурудзи, через те що під час вегетації відбувається фотосинтетична діяльність, змінюються кількісні і якісні показники рослини, формуються нові органи, накопичуються органічні речовини. Сприяння або мінімальне втручання в рослинний організм протягом проходження етапів органогенезу мінімізує ризики прояву аномальних відхилень та зниження продуктивності агроценозу загалом.

Гібриди кукурудзи, які використані в наших дослідженнях характеризувалися, відповідно до генетичних особливостей, різним значенням тривалості вегетаційного періоду, відповідно до міжнародної організації ФАО (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

**Характеристика досліджуваних гібридів кукурудзи за господарсько-
цінними ознаками**

Назва гібриду	Оригігатор	Напряв використання	Тип зерна	Група стиглості, ФАО
СИ Талісман	«Сингента» (Syngenta AG)	Зерно, силос	кременистий	200
СИ Фотон	«Сингента» (Syngenta AG)	Зерно, силос	зубовидний	260
НК Термо	«Сингента» (Syngenta AG)	Зерно	зубовидний	330
СИ Зефір	«Сингента» (Syngenta AG)	Зерно	зубовидний	430

Досліджувані гібриди відносяться до ранньостиглої (СИ Талісман), середньоранньої (СИ Фотон), середньостиглої (НК Термо) та середньопізньої (СИ Зефір) групи стиглості, оригігатором їх є компанія Сингента. Гібрид СИ Талісман має кременистий тип зерна, а СИ Фотон, НК Термо та СИ Зефір – зубовидний.

Напряв використання гібридів НК Термо та СИ Зефір зерновий, а гібридів СИ Талісман та СИ Фотон – зерно-силосний.

В таблиці 3.2 та 3.3 представлено результати дослідження впливу способів сівби, як елементу агротехніки, на тривалість вегетаційного періоду та окремих його періодів у гібридів кукурудзи. Встановлений неістотний вплив способів сівби на період «сівба–сходи» та «сходи–8 листків», у досліджуваних гібридів кукурудзи різних груп стиглості (див. табл. 3.2).

На характеристику тривалості періодів «сівба–сходи» та «сходи–8 листків» здійснювали істотний вплив гідротермічні умови років досліджень, зокрема за сівби ранньостиглого гібриду (НІР05 гібрид = 0,6; 0,8 та 0,7 діб) СИ Талісман та середньораннього гібриду СИ Фотон (ФАО 260) період «сівба–сходи» в 2021 році за різних способів сівби тривав 7 діб, а в 2022 році він зріс та становив 10 діб, а в 2023 році – 8 діб. У середньостиглого гібриду кукурудзи

НК Термо (ФАО 330) тривалість періоду «сівба–сходи» за різних способів сівби становила у 2021 році – 8 діб, в 2022 році – 11 діб, а в 2023 році – 9 діб. В середньопізнього гібриду СИ Зефір (ФАО 430) тривалість періоду «сівба–сходи» за різних способів сівби становила в 2021 році – 7 діб, в 2022 році – 11 діб та в 2023 році – 9 діб.

Таблиця 3.2

Тривалість періодів «сівба–сходи» та «сходи–8 листків» за різних способів сівби, діб

Гібрид (А)	Спосіб сівби (В)	«Сівба–сходи»			«Сходи–8 листків»		
		2021 р.	2022 р.	2023 р.	2021 р.	2022 р.	2023 р.
СИ Талісман (ФАО 200)	70 см (контроль)	7	10	8	36	33	37
	20,3×76,2 см	7	10	8	36	33	37
	20,3×91,4 см	7	10	8	36	33	37
	20,3×96,5 см	7	10	8	36	33	37
СИ Фотон (ФАО 260)	70 см (контроль)	7	10	8	36	34	37
	20,3×76,2 см	7	10	8	36	34	37
	20,3×91,4 см	7	10	8	36	34	37
	20,3×96,5 см	7	10	8	36	34	37
НК Термо (ФАО 330)	70 см (контроль)	8	11	9	38	36	39
	20,3×76,2 см	8	11	9	38	36	39
	20,3×91,4 см	8	11	9	38	36	39
	20,3×96,5 см	8	11	9	38	36	40
СИ Зефір (ФАО 430)	70 см (контроль)	7	11	9	40	37	41
	20,3×76,2 см	7	11	9	40	37	41
	20,3×91,4 см	7	11	9	40	37	41
	20,3×96,5 см	7	11	9	40	37	41
НІР ₀₅ , діб	Фактор А	0,6	0,8	0,7	3,0	1,9	2,7
	Фактор В	0,5	0,6	0,5	2,8	1,3	2,3
	Взаємодія АВ	0,9	1,1	1,0	3,3	2,1	2,9

Варто відзначити, що і тривалість періоду «сходи–8 листків кукурудзи» не залежала від способів сівби (НІР₀₅ спосіб сівби = 3,0; 1,9 та 2,7 доби), а в більшій мірі визначалася умовами року і становила для ранньостиглого гібриду СИ Талісман – 36, 33 та 37 діб, середньораннього гібриду СИ Фотон (ФАО 260) – 36, 34 та 37 діб, середньостиглого гібриду НК Термо (ФАО 330) – 38, 36 та

39 діб та середньопізнього СИ Зефір (ФАО 430) – 40, 37 та 41 доба, відповідно в 2021, 2022 та 2023 роках. Лише необхідно відмітити скорочення тривалості періоду «сходи–8 листків кукурудзи» у 2022 році на 2–4 дні порівняно із 2021 та 2023 рр., що пов'язано із значним підвищенням температурного режиму та нерівномірним розподілом вологозабезпечення на протязі вегетації гібридів.

Виходячи із цього можна стверджувати, що тривалість періодів «сівба–сходи» та «сходи–8 листків кукурудзи» у гібридів кукурудзи різних груп стиглості не залежала від способів сівби.

Не відмічено, також впливу способів сівби на тривалість періоду «8 листків–цвітіння волотей» у досліджуваних гібридів кукурудзи (НІР05 спосіб сівби = 1,3; 1,1 та 1,2 доби). Тривалість даного періоду досліджуваних гібридів кукурудзи в більшій мірі залежала від групи стиглості і зростала із збільшення пізньостиглості. Зокрема у ранньостиглого гібриду кукурудзи СИ Талісман тривалість періоду «8 листків–цвітіння волотей» (табл. 3.2) складала 18, 17 та 20 діб, у середньораннього СИ Фотон (ФАО 260) – 19, 19 та 20 діб, середньостиглого НК Термо (ФАО 330) – 23, 21 та 24 доби, середньопізнього СИ Зефір (ФАО 430) – 26, 23 та 27 діб, відповідно в 2021, 2022 та 2023 роках.

Тривалість періодів «цвітіння волотей–повна стиглість» та «сходи–повна стиглість зерна» також не залежала від способів сівби гібридів кукурудзи, а в більшій мірі визначалася біологічними особливостями та групою стиглості конкретного гібриду (див. табл. 3.3).

Характеристика періоду «цвітіння волотей–повна стиглість зерна» (НІР05 гібрид = 3,95; 375 та 3,85 доби) у ранньостиглого гібриду СИ Талісман (ФАО 200) в 2021 році, не залежно від способів сівби, становила 51 добу, в 2022 році 49 діб, а в 2023 році – 52 доби, у середньораннього гібриду СИ Фотон (ФАО 260) у 2021 році – 54 доби, в 2022 році – 52 доби та в 2023 році – 56 діб, середньостиглого гібриду НК Термо (ФАО 330) – 59, 56 та 61 добу, середньопізнього гібриду СИ Зефір (ФАО 430) – 62, 60 та 63 доби, відповідно в 2021, 2022 та 2023 рр. Тобто тривалість періоду «цвітіння волотей–повна

стиглість зерна» у середньопізнього гібриду СИ Зефір (ФАО 430) зросла на 11–12 діб порівняно із ранньостиглим гібридом СИ Талісман (ФАО 200).

Таблиця 3.3

Тривалість періодів «8 листків–цвітіння волотей, «цвітіння волотей–повна стиглість» та «сходи–повна стиглість» за різних способів сівби, діб

Гібрид (А)	Спосіб сівби (В)	«8 листків–цвітіння волотей»			«Цвітіння волотей–повна стиглість зерна»			«Сходи–повна стиглість зерна»		
		2021 р.	2022 р.	2023 р.	2021 р.	2022 р.	2023 р.	2021 р.	2022 р.	2023 р.
СИ Талісман (ФАО 200)	70 см (контроль)	18	17	20	51	49	52	105	99	108
	20,3×76,2 см	18	17	20	51	49	52	105	99	108
	20,3×91,4 см	18	17	20	51	49	52	105	99	108
	20,3×96,5 см	18	17	20	51	49	52	105	99	108
СИ Фотон (ФАО 260)	70 см (контроль)	19	19	20	54	52	56	109	105	112
	20,3×76,2 см	19	19	20	54	52	56	109	105	112
	20,3×91,4 см	19	19	20	54	52	56	109	105	112
	20,3×96,5 см	19	19	20	54	52	56	109	105	112
НК Термо (ФАО 330)	70 см (контроль)	23	21	24	59	56	61	120	113	123
	20,3×76,2 см	23	21	24	59	56	61	120	113	123
	20,3×91,4 см	23	21	24	59	56	61	120	113	123
	20,3×96,5 см	23	21	24	59	56	61	120	113	123
СИ Зефір (ФАО 430)	70 см (контроль)	26	23	27	62	60	63	128	120	132
	20,3×76,2 см	26	23	27	62	60	63	128	120	132
	20,3×91,4 см	26	23	27	62	60	63	128	120	132
	20,3×96,5 см	26	23	27	62	60	63	128	120	132
НІР ₀₅ , діб	Фактор А	1,8	1,6	1,7	3,95	3,75	3,85	7,11	6,65	6,95
	Фактор В	1,3	1,1	1,2	1,37	1,15	1,3	2,95	1,96	2,85
	Взаємодія АВ	2,1	1,7	2,0	4,75	3,95	3,90	8,32	7,85	8,43

Дана закономірність спостерігається і для тривалості періоду «сходи–повна стиглість зерна», найбільша була у середньопізнього гібриду СИ Зефір (ФАО 430) – 128, 120 та 132 доби, а найменша у ранньостиглого гібриду СИ Талісман (ФАО 200) – 105, 99 та 108 діб, відповідно в 2021, 2022 та

2023 роках.

Отже, нами не встановлено суттєвої закономірності зміни тривалості вегетаційного періоду в цілому та окремих його частин (періодів) зокрема залежно від способів сівби гібридів кукурудзи. Але встановлено вплив групи стиглості досліджуваних гібридів на тривалість самого вегетаційного періоду, і суттєвий вплив на значення даного показника гідротермічних умов року. Найбільш сприятливими за тривалістю вегетаційного періоду та окремих його частин виявилися 2021 та 2023 роки, тоді як 2022 рік виявився менш сприятливим у зв'язку із нерівномірним розподілом опадів протягом вегетаційного періоду кукурудзи та значними значеннями температурного режиму. На дану залежність також вказують у своїх дослідженнях і інші автори [4, 32, 126].

3.2 Біометричні показники рослин кукурудзи

Висота рослин та кріплення качанів найбільш важливі морфологічні ознаки для агротехніки вирощування зернової кукурудзи, оскільки істотно впливають на тривалість проведення збиральних робіт, затратність та рівень втрат. Крім того лінійні розміри рослин та закладання качанів визначають можливість застосування механізованого вирощування та збирання [3, 32, 33].

Необхідно зазначити, що висота рослин є типовим показником, який характеризує реакцію рослин кукурудзи на умови вирощування (освітлення, вологість повітря і ґрунту, температура, забезпеченість елементами живлення) та застосування агротехнічних прийомів [75, 125, 254].

Висота рослин висвітлює біологічну закономірність, пов'язану з тривалістю вегетаційного періоду та має істотну залежність із врожайністю [33, 255]. Низькорослі гібриди за однакової тривалості вегетаційного періоду і кількості листків значно поступаються за врожайністю високорослим, що підтверджує дану закономірність [42, 256].

Проведеними дослідженнями встановлено, що найкращим за температурними показниками (14,9 °C) та рівнем розподілу вологи для

формування лінійних розмірів рослин виявився 2021 рік, висота рослин у досліджуваних гібридів у цей рік склала у фазу 7–8 листків кукурудзи – 46,7 см, цвітіння волотей – 230,0 см, молочної стиглості – 234,6 см та повної стиглості – 235,0 см, тоді як в 2023 році вона становила – 45,8 см, 227,2 см, 232,4 см та 232,8 см, відповідно за фазами росту і розвитку. В 2022 році в силу найменш сприятливим гідротермічних показників лінійні розміри рослин досліджуваних гібридів кукурудзи були найменшими – 43,9 см, 213,0 см, 217,4 см, 218,1 см, відповідно (див. додаток Б1).

Характеристику гібридів кукурудзи за лінійними розмірами рослин залежно від способів сівби приведено в таблиці 3.4.

Із даних таблиці 3.4 видно, що висота рослин істотно залежала від групи стиглості гібридів, так зокрема в середньому за три роки досліджень висота рослин у ранньостиглого гібриду СИ Талісман (ФАО 200) склала у фазу 7–8 листків кукурудзи – 39,6 см, цвітіння волотей – 214,0 см, молочної стиглості – 218,9 см та повної стиглості – 219,2 см, у середньораннього гібриду СИ Фотон (ФАО 260) – 43,1 см, 219,9 см, 224,3 та 224,5 см, у середньостиглого гібриду НК Термо (ФАО 330) – 46,9 см, 226,5 см, 231,6 та 231,7 см, а у середньопізнього гібриду вона СИ Зефір (ФАО 430) вона виявилася найбільшою і становила – 52,3 см, 233,2 см, 237,7 та 237,9 см, відповідно до фаз росту і розвитку.

Тобто, чітко підтверджується закономірність із подовженням тривалості вегетаційного періоду зростання лінійних розмірів рослин кукурудзи.

Нами встановлено, що характеристика розміщення рослин в рядку та ширина міжрядь також істотно впливала на формування лінійних розмірів рослин досліджуваних гібридів кукурудзи.

Найкращим для формування лінійних розмірів рослин був спосіб сівби кукурудзи зі схемою 20,3×91,4 см, яка, в середньому за роки досліджень, становила у гібриду СИ Талісман (ФАО 200) – 215,2 см, 220,0 та 220,4 см, СИ Фотон (ФАО 260) – 221,5 см, 226,1 та 226,5 см, НК Термо (ФАО 330) – 228,2 см, 233,4 та 233,1 см, СИ Зефір (ФАО 430) – 235,2 см, 239,8 та 239,9 см, відповідно у фазу цвітіння волотей, молочної стиглості та повної стиглості

зерна. Найменш сприятливим для висоти рослин виявився контрольний варіант із шириною міжрядь 70 см, СИ Талісман (ФАО 200) – 212,4 см, 217,3 та 217,5 см, СИ Фотон (ФАО 260) – 217,4 см, 221,5 та 221,8 см, НК Термо (ФАО 330) – 224,2 см, 229,0 та 228,9 см, СИ Зефір (ФАО 430) – 230,9 см, 234,7 та 234,8 см, відповідно.

Таблиця 3.4

Висота рослин та кріплення качанів у гібридів кукурудзи залежно від фази розвитку та способів сівби, см (середнє за 2021–2023 рр.)

Гібрид (А)	Спосіб сівби (В)	Висота рослин				Висота кріплення качанів
		7–8 листків	цвітіння волотей	молочна стиглість зерна	повна стиглість зерна	
СИ Талісман (ФАО 200)	70 см (контроль)	41,0	212,4	217,3	217,5	64,2
	20,3×76,2 см	40,0	214,3	218,7	218,9	65,1
	20,3×91,4 см	38,9	215,2	220,0	220,4	67,1
	20,3×96,5 см	38,6	214,1	219,5	219,9	66,4
СИ Фотон (ФАО 260)	70 см (контроль)	44,4	217,4	221,5	221,8	69,3
	20,3×76,2 см	43,7	219,9	224,4	224,5	71,6
	20,3×91,4 см	42,3	221,5	226,1	226,5	74,1
	20,3×96,5 см	41,9	220,7	225,3	225,1	72,7
НК Термо (ФАО 330)	70 см (контроль)	48,2	224,2	229,0	228,9	92,1
	20,3×76,2 см	47,4	226,5	231,2	231,4	94,3
	20,3×91,4 см	46,2	228,2	233,4	233,1	97,5
	20,3×96,5 см	45,7	227,1	232,6	232,5	95,9
СИ Зефір (ФАО 430)	70 см (контроль)	53,9	230,9	234,7	234,8	114,8
	20,3×76,2 см	53,0	233,2	237,3	237,8	119,7
	20,3×91,4 см	51,5	235,2	239,8	239,9	122,8
	20,3×96,5 см	50,9	233,5	239,0	239,1	121,7
НІР ₀₅ , см	Фактор А	2,15	2,16	2,48	2,47	3,41
	Фактор В	0,96	0,58	0,59	0,60	0,59
	Взаємодія АВ	2,73	5,58	5,70	5,71	4,40

Що стосується фази 7–8 листків, то формування висоти рослин у гібридів кукурудзи дещо відрізнялося від закономірностей встановлених у більш пізній період росту і розвитку. Зокрема, найбільше значення висоти рослин

досліджуваних гібридів кукурудзи у цій фазі відмічене на контрольному варіанті за ширини міжрядь 70 см, СИ Талісман (ФАО 200) – 41,0 см, СИ Фотон (ФАО 260) – 44,4 см, НК Термо (ФАО 330) – 48,2 см та СИ Зефір (ФАО 430) – 53,9 см, а найменше за схеми сівби 20,3×96,5 см – 38,6 см, 41,9 см, 45,7 та 50,9 см, відповідно.

Отже, можна зробити висновок що на ранніх етапах розвитку рослини кукурудзи досліджуваних гібридів кукурудзи менш вимогливі до просторового розміщення рослин у рядку та міжрядді, тоді як на більш пізніх етапах розвитку спосіб сівби впливає на формування лінійних розмірів рослин.

Висота кріплення качанів як одна із найбільш важливих морфологічних ознак у кукурудзи, згідно даних літературних джерел висота рослин тісно пов'язана з висотою закладання качана [33].

Вона впливає на вологовіддачу під час дозрівання зерна, стійкість до хвороб та шкідників. Не значна висота закладання качанів може перешкоджати якісному проведенню збиральних робіт, збільшуючи відсоток не зібраних качанів [42]. Але занадто високе розміщення качанів також часто викликає надламання стебла і вилягання рослин [33].

Сучасні гібриди кукурудзи в середньому характеризуються висотою закладання качанів на рівні 70–100 см, що повністю достатньо для якісного збирання врожаю. На стеблі кукурудзи розвивається 1–2 качани, рідше більше [53].

Висота закладання качанів, як і висота рослин, істотно залежала від кліматичних умов які склалися протягом вегетаційного періоду кукурудзи. Найбільше значення даної ознаки у досліджуваних гібридів кукурудзи було у 2021 році – 91,5 см, тоді як у 2023 році воно становило – 89,3 см, а в 2022 – 83,4 см (див. додаток Б1).

Відмічена відмінність висоти кріплення качанів залежно від групи стиглості гібридів. Найбільша висота закладання качанів була, у середньому за роки досліджень, у гібридів з тривалим вегетаційним періодом НК Термо (ФАО 330) – 95,0 см та СИ Зефір (ФАО 430) – 119,8 см, тоді як у більш

скоростиглих гібридів вона була найменшою: СИ Талісман (ФАО 200) – 65,7 см та СИ Фотон (ФАО 260) – 71,9 см (див табл. 3.4).

Спосіб сівби також впливав на висоту закладання качанів, найбільше значення кріплення качанів, в середньому за роки досліджень, відмічено за схеми сівби 20,3×91,4 см – 67,1 см, 74,1 см, 97,5 та 122,8 см, а найменше на контрольному варіанті із шириною міжрядь 70 см – 64,2 см, 69,3 см, 92,1 та 114,8 см, відповідно для гібридів СИ Талісман (ФАО 200), СИ Фотон (ФАО 260), НК Термо (ФАО 330) та СИ Зефір (ФАО 430).

Отже, висота рослин і закладання качанів морфологічні ознаки які істотно залежать від гідротермічних умов року та генетичних особливостей гібридів можуть змінюватися залежно від просторового розміщення рослин на полі, найкращі умови для даних ознак складаються за способу сівби 20,3×91,4 см.

3.3 Динаміка наростання площі листової поверхні кукурудзи

Висота лінійних розмірів рослин в подальшому може впливати на формування фотосинтетичного потенціалу посіву гібриду кукурудзи. Згідно досліджень В. Г. Молдован, Ж. А. Молдован [75] із збільшенням висоти рослин кукурудзи відбувається й наростання площі листової поверхні.

Площа листової поверхні визначає кількість накопиченої органічної речовини та в подальшому рівень урожайності гібридів кукурудзи. Вона може змінюватися залежно від фази розвитку рослин, що обумовлюється поступовим формуванням кількості листків на рослині. Найбільше значення площі листової поверхні у гібридів кукурудзи, як правило, формується у фазі цвітіння [4, 75]. Площа листової поверхні гібридів кукурудзи також може збільшуватися зі збільшенням групи ФАО [33, 42, 75].

Площа листової поверхні впливає на фотосинтетичний потенціал посіву та кількість утвореної органічної речовини, яка відображається у рівні урожайності конкретного гібриду кукурудзи.

Характеристику гібридів кукурудзи за площею листової поверхні

залежно від фази розвитку та способів сівби приведено в таблиці 3.5 та в додатку БЗ.

Таблиця 3.5

Площа листової поверхні у гібридів кукурудзи залежно від фази розвитку та способів сівби, тис. м²/га (середнє за 2021–2023 рр.)

Гібрид (А)	Спосіб сівби (В)	Площа листової поверхні			
		7–8 листків	цвітіння волотей	молочна стиглість зерна	повна стиглість зерна
СИ Талісман (ФАО 200)	70 см (контроль)	7,84	33,53	31,33	27,90
	20,3×76,2 см	7,70	34,10	31,77	28,67
	20,3×91,4 см	7,72	34,77	32,83	29,47
	20,3×96,5 см	7,74	35,07	33,47	30,10
СИ Фотон (ФАО 260)	70 см (контроль)	7,89	34,47	32,63	30,07
	20,3×76,2 см	7,80	35,10	33,30	30,50
	20,3×91,4 см	7,80	36,30	34,47	31,17
	20,3×96,5 см	7,78	36,53	34,87	31,67
НК Термо (ФАО 330)	70 см (контроль)	7,98	37,37	35,70	32,77
	20,3×76,2 см	7,89	37,97	36,37	33,53
	20,3×91,4 см	7,87	39,30	37,50	34,63
	20,3×96,5 см	7,90	39,93	38,37	35,03
СИ Зефір (ФАО 430)	70 см (контроль)	8,08	39,33	37,73	34,20
	20,3×76,2 см	7,99	39,77	38,20	34,73
	20,3×91,4 см	7,99	42,03	40,53	36,70
	20,3×96,5 см	8,01	42,50	40,87	37,17
НР ₀₅ , см	Фактор А	0,05	0,49	0,86	1,12
	Фактор В	0,02	0,22	0,28	0,25
	Взаємодія АВ	0,19	0,93	0,89	0,81

Нами встановлено, що значення площі листової поверхні гібридів кукурудзи змінювалась залежно від кліматичних умов року. Так, зокрема, найвище значення площі листової поверхні відмічене у 2021 році і в фазу 7–8 листків становило 8,09 тис. м²/га, цвітіння волотей 39,64 тис. м²/га, молочної стиглості зерна – 37,34 тис. м²/га та у фазу повної стиглості зерна – 33,89 тис. м²/га, тоді як в 2023 році вона склала – 7,62 тис. м²/га, 37,18 тис. м²/га, 36,51 тис. м²/га та 33,38 тис. м²/га, а в 2022 році в силу не досить сприятливих

умов вегетації виявилось найнижчим – 7,91 тис. м²/га, 35,32 тис. м²/га, 33,01 тис. м²/га та 29,91 тис. м²/га, відповідно у різні фази розвитку кукурудзи (див. додаток БЗ).

Необхідно відмітити, що максимальні значення площі листкової поверхні у рослин досліджуваних гібридів кукурудзи встановлено у фазі цвітіння волотей, а саме 33,53–42,50 тис. м²/га. В подальшому починаючи з фази молочної стиглості, показники площі листкової поверхні мали тенденцію до зменшення, внаслідок часткового відмирання листя у нижньому ярусі.

Площа листової поверхні істотно залежала і від генетичних особливостей гібридів та їх групи стиглості (табл. 3.5). Найбільше значення площі листової поверхні встановлене у гібридів пізньостиглих груп стиглості НК Термо (ФАО 330) – 7,91 тис. м²/га, 38,64 тис. м²/га, 36,99 тис. м²/га та 33,99 тис. м²/га, СИ Зефір (ФАО 430) – 8,02 тис. м²/га, 40,91 тис. м²/га, 39,33 тис. м²/га та 35,70 тис. м²/га, а найменше у гібридів скоростиглої групи СИ Талісман (ФАО 200) – 7,75 тис. м²/га, 34,37 тис. м²/га, 32,35 тис. м²/га та 29,04 тис. м²/га, СИ Фотон (ФАО 260) – 7,82 тис. м²/га, 35,60 тис. м²/га, 33,82 тис. м²/га та 30,85 тис. м²/га, відповідно у фази – 7–8 листків, цвітіння волотей, молочна стиглість зерна та повна стиглість зерна. Формування меншої площі листків ранньостиглими та середньоранніми гібридами в порівнянні із більш пізньостиглими пов'язане з меншою тривалістю їх вегетації та меншою кількістю листків на рослині.

Способи сівби також впливали на формуванні площі листової поверхні досліджуваних гібридів кукурудзи, зокрема у фазу 7–8 листків найбільш сприятливі умови склалися на контрольному варіанті із шириною міжрядь 70 см. За широкорядного способу сівби із шириною міжрядь 70 см (контроль) площа листової поверхні становила СИ Талісман (ФАО 200) – 7,84 тис. м²/га, СИ Фотон (ФАО 260) – 7,89 тис. м²/га, НК Термо (ФАО 330) – 7,98 тис. м²/га та СИ Зефір (ФАО 430) – 8,08 тис. м²/га. За схеми посіву 20,3×76,2 см площа листової поверхні становила – 7,70 тис. м²/га, 7,80 тис. м²/га, 7,89 та 7,99 тис. м²/га, 20,3×91,4 см – 7,72 тис. м²/га, 7,80 тис. м²/га, 7,87 та 7,99 тис. м²/га, а за схеми сівби

20,3×96,5 см – 7,74 тис. м²/га, 7,78 тис. м²/га, 7,90 та 8,01 тис. м²/га, відповідно для гібридів СИ Талісман (ФАО 200), СИ Фотон (ФАО 260), НК Термо (ФАО 330) та СИ Зефір (ФАО 430).

На більш пізніх етапах розвитку роль схеми розміщення рослин на площі змінилася і найкращі параметри площі листової поверхні склалися за схеми сівби 20,3×96,5 см у гібриду СИ Талісман (ФАО 200) у фазу цвітіння волотей – 35,07 тис. м²/га, молочної стиглості зерна – 33,47 тис. м²/га та повної стиглості зерна 30,10 тис. м²/га, у гібриду СИ Фотон (ФАО 260) – 36,53 тис. м²/га, 34,87 та 31,67 тис. м²/га, НК Термо (ФАО 330) – 39,93 тис. м²/га, 38,37 та 35,03 тис. м²/га, СИ Зефір (ФАО 430) – 42,50 тис. м²/га, 40,87 та 37,17 тис. м²/га, відповідно у фазу цвітіння волотей, молочної та повної стиглості зерна.

Між площею листової поверхні і урожайністю зерна гібридів кукурудзи встановлена висока кореляційна залежність ($r = 0.96$) (рис. 3.1).

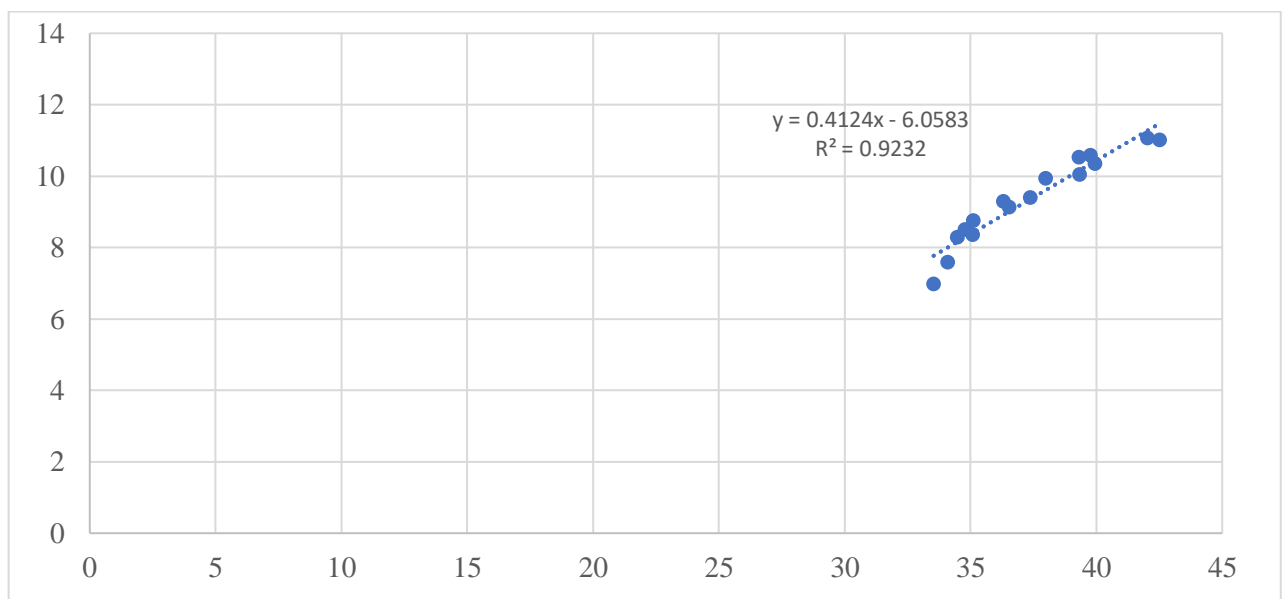


Рис. 3.1. Кореляційна залежність між площею листової поверхні у фазу цвітіння та урожайністю зерна гібридів кукурудзи

Отже, застосування різних способів сівби може істотно впливати на формування площі листової поверхні у досліджуваних гібридів кукурудзи. Оптимальне розміщення рослин кукурудзи на полі найбільше проявляється у період цвітіння волотей – повна стиглість зерна.

Наступним показником який залежить від площі листової поверхні та

тривалості її функціонування є фотосинтетичний потенціал посіву, який має суттєвий вплив на формування біомаси рослин кукурудзи (табл. 3.6 та додаток Б4).

Формування фотосинтетичного потенціалу посіву досліджуваних гібридів кукурудзи обумовлювалося гідротермічними умовами року. Найкращі показники фотосинтетичного потенціалу відмічені в 2021 році – 0,518 млн м² діб/га, 0,952 та 1,647 млн м² діб/га, тоді як в 2023 році вони становили – 0,426 млн м² діб/га, 0,847 та 1,531 млн м² діб/га, а в 2022 році виявилися найнижчими – 0,367 млн м² діб/га, 0,564 та 1,413 млн м² діб/га, відповідно у період «7–8 листків – цвітіння волотей», «цвітіння волотей – молочна стиглість зерна» та «7–8 листків – повна стиглість зерна» (див. додаток Б4).

В розрізі гібридів, в середньому за роки досліджень, фотосинтетичний потенціал становив СИ Талісман (ФАО 200) – 0,380 млн м² діб/га, 0,666 та 1,233 млн м² діб/га, СИ Фотон (ФАО 260) – 0,399 млн м² діб/га, 0,679 та 1,386 млн м² діб/га, НК Термо (ФАО 330) – 0,460 млн м² діб/га, 0,816 та 1,649 млн м² діб/га, СИ Зефір (ФАО 430) – 0,509 млн м² діб/га, 0,990 та 1,852 млн м² діб/га, відповідно у період «7–8 листків – цвітіння волотей», «цвітіння волотей – молочна стиглість зерна» та «7–8 листків – повна стиглість зерна» (табл. 3.6).

Встановлено, що фотосинтетичний потенціал гібридів 330–430 був більший на 17,5–31,4 %, що пов'язано із меншою кількістю листків у ранньостиглих гібридів та не тривалим періодом їх функціонування. На дану закономірність вказують у своїх дослідженнях і О. В. Аверчев, М. О. Іванів, Ю. О. Лавриненко [257].

Способи сівби також впливали на формування фотосинтетичного потенціалу посіву гібридів кукурудзи. Так, зокрема застосування широкорядного способу сівби із шириною міжрядь 70 см (контроль) – забезпечило формування фотосинтетичного потенціалу, в середньому для досліджуваних гібридів кукурудзи, на рівні – 0,426 млн м² діб/га, 0,761 та 1,489 млн м² діб/га, схеми сівби 20,3×76,2 см – 0,430 млн м² діб/га, 0,773 та 1,508 млн м² діб/га, 20,3×91,4 см – 0,444 млн м² діб/га, 0,804 та 1,552 млн м² діб/га

і 20,3×96,5 см – 0,448 млн м² діб/га, 0,813 та 1,572 млн м² діб/га, відповідно у період «7–8 листків – цвітіння волотей», «цвітіння волотей – молочна стиглість зерна» та «7–8 листків – повна стиглість зерна».

Таблиця 3.6

Фотосинтетичний потенціал посіву гібридів кукурудзи залежно від періоду вегетації та способів сівби, млн м² діб/га (середнє за 2021–2023 рр.)

Гібрид (А)	Спосіб сівби (В)	Фотосинтетичний потенціал посіву		
		7–8 листків – цвітіння волотей	цвітіння волотей – молочна стиглість зерна	7–8 листків – повна стиглість зерна
СИ Талісман (ФАО 200)	70 см (контроль)	0,373	0,648	1,198
	20,3×76,2 см	0,376	0,658	1,219
	20,3×91,4 см	0,383	0,675	1,246
	20,3×96,5 см	0,386	0,684	1,268
СИ Фотон (ФАО 260)	70 см (контроль)	0,389	0,656	1,361
	20,3×76,2 см	0,394	0,669	1,373
	20,3×91,4 см	0,405	0,692	1,397
	20,3×96,5 см	0,407	0,698	1,414
НК Термо (ФАО 330)	70 см (контроль)	0,448	0,790	1,604
	20,3×76,2 см	0,453	0,802	1,630
	20,3×91,4 см	0,466	0,829	1,673
	20,3×96,5 см	0,473	0,843	1,690
СИ Зефір (ФАО 430)	70 см (контроль)	0,493	0,951	1,791
	20,3×76,2 см	0,497	0,961	1,810
	20,3×91,4 см	0,521	1,018	1,893
	20,3×96,5 см	0,526	1,028	1,914
НР ₀₅ , см	Фактор А	0,146	0,357	0,064
	Фактор В	0,003	0,011	0,010
	Взаємодія АВ	0,031	0,055	0,107

Тобто продуктивність фотосинтезу істотно залежить від площі листової поверхні, яка може регулюватись шляхом створення оптимальної оптико-біологічної структури посіву гібридів кукурудзи.

Отже, можна відмітити зростання фотосинтетичного потенціалу досліджуваних гібридів кукурудзи за застосування схеми сівби 20,3×96,5 см на 0,95–6,39 % порівняно із іншими способами сівби. В порівнянні із контрольним варіантом збільшення фотосинтетичного потенціалу за застосування схеми

сівби 20,3×96,5 см становило 4,97–6,39 %.

Між фотосинтетичним потенціалом у період «7–8 листків – повна стиглість зерна» та урожайністю зерна гібридів кукурудзи кореляційна залежність мала високі значення ($r = 0,95$) за показника детермінації $R^2 = 0,90$ (рис. 3.2).

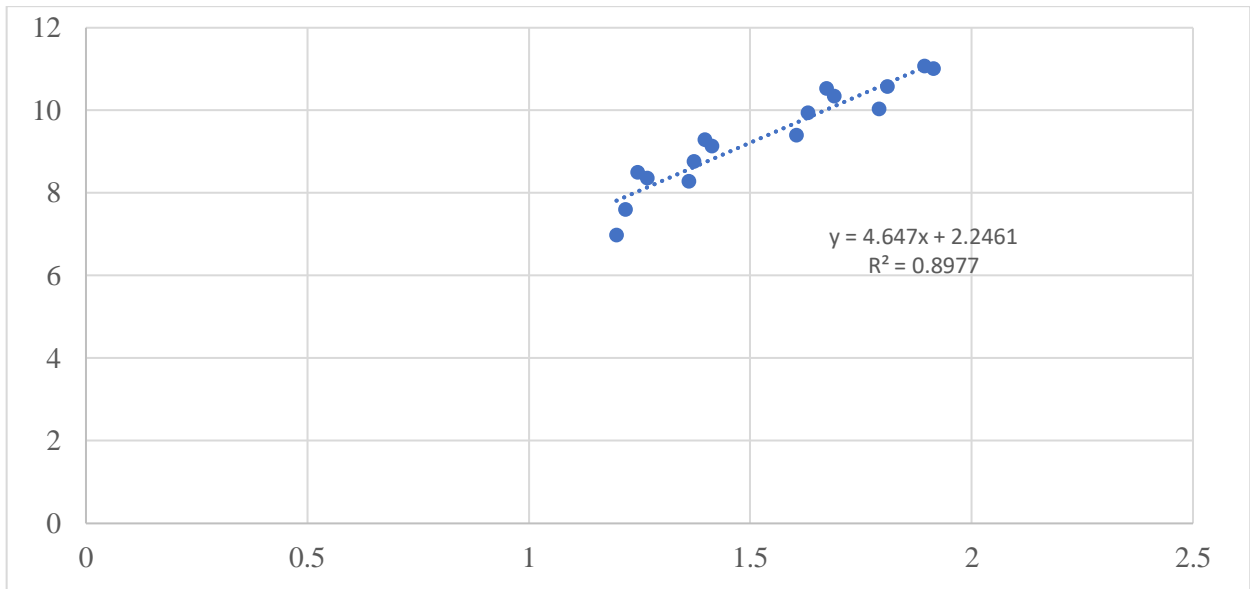


Рис. 3.2. Кореляційна залежність між фотосинтетичним потенціалом у період «7–8 листків – повна стиглість зерна» та урожайністю зерна гібридів кукурудзи

Важливою характеристикою продуктивності фотосинтезу є величина органічної речовини, яка формується з 1 м² посіву за добу, тобто чиста продуктивність фотосинтезу. Згідно даних літературних джерел [53] оптимальним значенням чистої продуктивності фотосинтезу за асиміляції 4–6 г органічної речовини за добу. Вважається, що деяке загущення посівів на одиниці площі буде асимілювати більше органічних речовин в порівнянні із зрідженими посівами.

Характеристику чистої продуктивності фотосинтезу досліджуваних гібридів кукурудзи залежно від періоду вегетації та способів сівби приведено в таблиці 3.7 та додатку Б5.

В розрізі років чиста продуктивність фотосинтезу досліджуваних гібридів була найвищою у 2021 році та становила 10,666 та 6,375 г/м² за добу,

тоді як в 2022 році вона становила 9,104 та 6,258 г/м² за добу, а в 2023 році – 9,012 та 6,107 г/м² за добу, відповідно у фазу цвітіння волотей та воскової стиглості зерна. У фазу 7–8 листків чиста продуктивність фотосинтезу становила у 2021 році – 6,840 г/м² за добу, в 2022 році – 7,331 г/м² за добу та в 2023 році – 7,245 г/м² за добу (див. додаток Б5).

Таблиця 3.7

Чиста продуктивність фотосинтезу гібридів кукурудзи залежно від періоду вегетації та способів сівби, г/м² за добу (середнє за 2021–2023 рр.)

Гібрид (А)	Спосіб сівби (В)	Чиста продуктивність фотосинтезу		
		7–8 листків	цвітіння волотей	воскова стиглість зерна
СИ Талісман (ФАО 200)	70 см (контроль)	6,298	8,782	5,476
	20,3×76,2 см	6,141	8,808	5,350
	20,3×91,4 см	6,643	8,835	5,543
	20,3×96,5 см	6,596	8,948	5,475
СИ Фотон (ФАО 260)	70 см (контроль)	6,667	9,280	5,968
	20,3×76,2 см	6,988	9,377	6,264
	20,3×91,4 см	7,100	9,438	6,517
	20,3×96,5 см	7,010	9,305	6,093
НК Термо (ФАО 330)	70 см (контроль)	7,339	9,735	6,432
	20,3×76,2 см	7,435	9,862	6,934
	20,3×91,4 см	7,352	10,098	7,163
	20,3×96,5 см	7,199	9,228	6,653
СИ Зефір (ФАО 430)	70 см (контроль)	7,499	10,487	6,131
	20,3×76,2 см	7,748	10,363	6,332
	20,3×91,4 см	8,034	10,919	6,761
	20,3×96,5 см	8,169	10,043	6,854
НІР ₀₅ , см	Фактор А	0,906	1,788	0,532
	Фактор В	0,344	0,261	0,354
	Взаємодія АВ	0,500	0,672	0,437

Нами встановлено, що генетичні особливості гібриду можуть впливати на чисту продуктивність фотосинтезу, зокрема у ранньостиглого гібриду СИ Талісман (ФАО 200) вона, в середньому за роки досліджень, становила – 6,420 г/м² за добу, 8,843 та 5,461 г/м² за добу, у середньораннього СИ Фотон (ФАО

260) – 6,941 г/м² за добу, 9,350 та 6,211 г/м² за добу, середньостиглого НК Термо (ФАО 330) – 7,331 г/м² за добу, 9,731 та 6,796 г/м² за добу, у середньопізнього СИ Зефір (ФАО 430) – 7,863 г/м² за добу, 10,453 та 6,520 г/м² за добу, відповідно для фази 7–8 листків, цвітіння волотей та воскової стиглості зерна. При цьому зростання чистої продуктивності фотосинтезу гібридів із ФАО 330–430 склало на 3,9–19,6 % в порівнянні із гібридами ФАО 200–260.

Кореляційна залежність між чистою продуктивністю фотосинтезу у фазу воскової стиглості зерна та урожайністю гібридів кукурудзи має високий рівень ($r = 0,86$, $R^2 = 0,73$) (рис. 3.3).

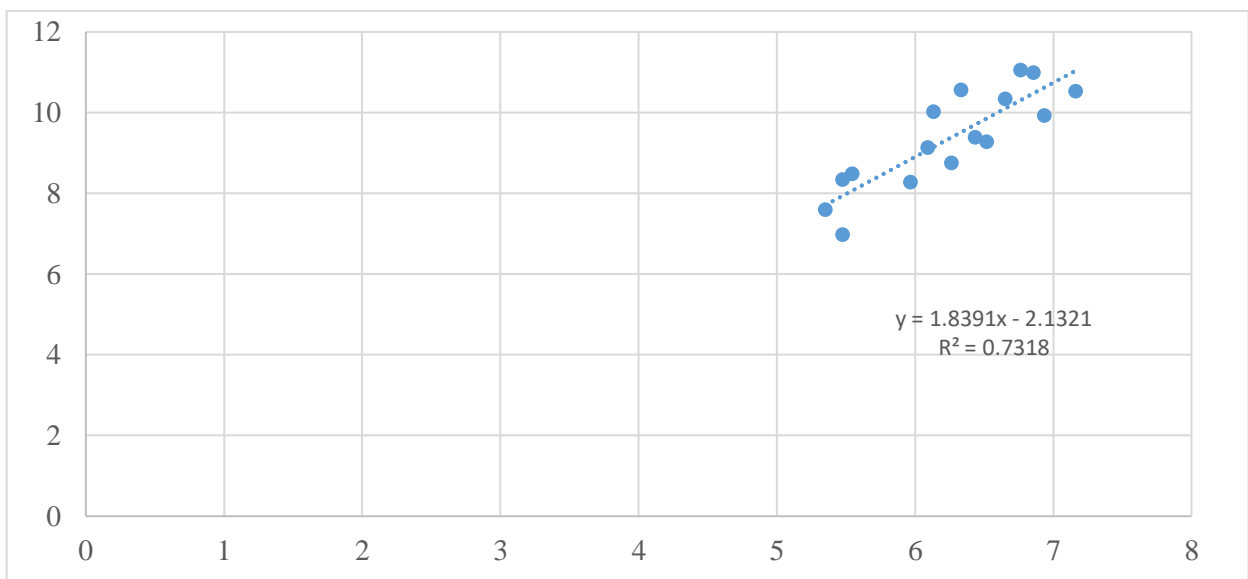


Рис. 3.3. Кореляційна залежність між чистою продуктивністю фотосинтезу у фазу воскової стиглості зерна та урожайністю гібридів кукурудзи

Способи сівби також впливали на величину чистої продуктивності фотосинтезу. Так у ранньостиглого гібриду СИ Талісман у фазу 7–8 листків найкращі умови для формування чистої продуктивності склалися за схеми посіву 20,3×91,4 см – 6,643 г/м² за добу, у фазу цвітіння волотей за схеми посіву 20,3×96,5 см – 8,948 г/м² за добу та у фазу воскової стиглості 20,3×91,4 см – 5,543 г/м² за добу. У середньораннього гібриду СИ Фотон у фазу 7–8 листків, цвітіння волотей та воскової стиглості за схеми посіву 20,3×91,4 см – 7,100 г/м² за добу, 9,438 та 6,517 г/м² за добу, відповідно. У середньостиглого гібриду НК Термо (ФАО 330) у фазу 7–8 листків за схеми посіву 20,3×76,2 см –

7,435 г/м² за добу, у фазу цвітіння волотей та воскової стиглості за схеми посіву 20,3×91,4 см – 10,098 та 7,163 г/м² за добу, відповідно. У середньопізнього гібриду СИ Зефір (ФАО 430) у фазу 7–8 листків за схеми посіву 20,3×96,5 см – 8,169 г/м² за добу, у фазу цвітіння волотей 20,3×91,4 см – 10,919 г/м² за добу та воскової стиглості за схеми посіву 20,3×96,5 см – 6,854 г/м² за добу.

3.4. Елементи структури врожаю гібридів кукурудзи

Продуктивність кукурудзи визначається елементами структури, зокрема кількістю рядів зерен, зерен в ряді, масою 1000 зерен, кількістю качанів на рослині, довжиною та діаметром качана, виходом зерна із качана. Знаючи величину елементів структури врожаю легко розрахувати біологічну врожайність гібриду кукурудзи, ще до проведення збиральних робіт [43, 258].

Важливим завданням щодо реалізації потенціалу продуктивності гібридів кукурудзи сформувати за допомогою елементів технології оптимальну модель величини структури врожаю. Серед елементів технології схеми розміщення рослин на одиниці площі мають пріоритетне значення, оскільки впливають не лише на індивідуальну продуктивність рослини, але можуть забезпечувати ефективне використання внесених елементів живлення, засвоєння сонячної енергії, стійкість до шкочинних об'єктів.

Маса 1000 насінин у формуванні урожаю кукурудзи, серед елементів структури, займає одне із головних значень. В межах кожного гібриду формування даної ознаки можливе за рахунок біологічних особливостей самого гібриду та оптимізації елементів технології вирощування. Також варто відзначити важливість маси 1000 насінин для формування якісних показників зерна, які є основою накопичення крохмалю та можливості переробки його на біостанол. Крім того використання насінневого матеріалу із високою масою 1000 зерен сприяє зменшенню розриву між потенційною та виробничою урожайністю кукурудзи.

Аналіз простих ознак, серед яких є і маса 1000 насінин, поруч із продуктивністю є доцільним, через те що вони є фундаментальними для

елементів структури врожаю і залежать від умов вирощування. Такі ознаки структури врожаю, як кількість рядів зерен, є більш генетично детермінованими порівняно із продуктивністю та масою 1000 насінин, через те що їх формування відбувається ще на ранніх етапах морфогенезу рослин [33, 258].

Варто відзначити формування елементів структури врожаю на різних етапах органогенезу кукурудзи, що і визначає різні вимоги рослин та умов вирощування [258]. Через це можливість регулювання формування елементів структури врожаю, особливо в періоди коли рослина відчуває дефіцит факторів життя або стресу в процесі розвитку, забезпечить отримання високого рівня врожаю [43, 258].

В. Д. Паламарчук та ін. [58] і В. А. Мазур та ін. [32] відмічають, що навіть за невеликих затрат на насіння (5–20% від загальних затрат) використання якісного насіннєвого матеріалу та відповідного гібриду у технологіях вирощування, дозволить додатково отримувати 20–80 % приросту врожаю.

Розміри зерна кукурудзи впливають на інтенсивність ростових процесів, за рахунок значної кількості запасних речовин що містяться в ендоспермі, саме за рахунок даних речовин, за відсутності добре розвиненої кореневої системи відбуваються ростові процеси проростаючої рослини [58]. Найбільшу рівномірність та дружність сходів забезпечує використання насіння із найбільшою масою 1000 насінин [3, 32, 58]. Крім того таке насіння можна висівати на глибину до 10 см, що дуже важливо у роки із дефіцитом вологи в період проростання для ефективного використання запасів із нижчих шарів ґрунту.

Характеристику досліджуваних гібридів кукурудзи за елементами структури врожаю залежно від біологічних особливостей гібриду та способів сівби приведено в таблиці 3.8 та додатку В.

Кращим для формування структури врожаю досліджуваних гібридів кукурудзи за кліматичними умовами виявився 2021 рік, довжина качана склала 17,6 см, діаметр качана – 4,6 см, маса зерна з качана – 152,1 г, маса 1000 зерен

– 235,0 г. Тоді як в 2023 році вони становили – 17,4 см, 4,5 см, 145,6 та 232,0 г, а в 2022 році – 17,3 см, 4,4 см, 133,0 та 218,1 г, відповідно для довжини та діаметра качана, маси зерна з качана та 1000 зерен (див. додаток В1).

В розрізі досліджуваних гібридів структура врожаю також мала тенденції до зміни. В ранньостиглого гібриду СИ Талісман, в середньому за три роки досліджень, довжина качана була 16,9 см, діаметр качана – 4,2 см, маса зерна з качана 120,5 г та маса 1000 зерен – 219,4 г, середньостиглого СИ Фотон – 17,1 та 4,4 см, 135,9 та 224,9 г, середньостиглого НК Термо – 17,6 та 4,6 см, 154,2 та 230,9 г, середньопізнього СИ Зефір – 18,1 та 4,9 см, 163,6 та 238,2 г, відповідно для довжини та діаметру качана, маси зерна з качана та 1000 зерен (табл. 3.8).

Таблиця 3.8

Елементи структури врожаю кукурудзи залежно від біологічних особливостей гібридів та способів сівби, (середнє за 2021–2023 рр. \pm Sr)

Назва гібриду (А)	Спосіб сівби за ширини міжрядь 70 см (В)	Елементи структури врожаю			
		довжина качана, см	діаметр качана, см	маса зерна з качана за 14 % вологості, г	маса 1000 зерен, г
СИ Талісман	70 см (контроль)	16,5 \pm 0,15	4,1 \pm 0,10	107,1 \pm 6,61	217,8 \pm 8,11
	20,3 \times 76,2 см	16,8 \pm 0,20	4,2 \pm 0,15	116,4 \pm 7,13	219,4 \pm 8,00
	20,3 \times 91,4 см	17,1 \pm 0,29	4,3 \pm 0,10	130,2 \pm 4,20	220,7 \pm 8,22
	20,3 \times 96,5 см	17,1 \pm 0,29	4,3 \pm 0,10	128,1 \pm 3,51	219,8 \pm 8,74
СИ Фотон	70 см (контроль)	16,8 \pm 0,15	4,3 \pm 0,10	127,0 \pm 7,60	222,5 \pm 8,49
	20,3 \times 76,2 см	16,9 \pm 0,12	4,4 \pm 0,10	134,2 \pm 7,07	224,7 \pm 9,23
	20,3 \times 91,4 см	17,4 \pm 0,21	4,5 \pm 0,10	142,4 \pm 9,14	226,7 \pm 9,67
	20,3 \times 96,5 см	17,4 \pm 0,21	4,5 \pm 0,10	140,1 \pm 7,45	225,7 \pm 9,80
НК Термо	70 см (контроль)	17,4 \pm 0,06	4,5 \pm 0,12	144,0 \pm 10,57	228,2 \pm 8,17
	20,3 \times 76,2 см	17,4 \pm 0,06	4,5 \pm 0,12	152,4 \pm 12,71	231,0 \pm 8,42
	20,3 \times 91,4 см	17,8 \pm 0,21	4,7 \pm 0,15	161,6 \pm 16,03	232,6 \pm 8,09
	20,3 \times 96,5 см	17,8 \pm 0,21	4,7 \pm 0,15	158,7 \pm 15,45	231,7 \pm 8,07
СИ Зефір	70 см (контроль)	17,8 \pm 0,26	4,8 \pm 0,15	153,8 \pm 13,44	235,7 \pm 10,70
	20,3 \times 76,2 см	17,9 \pm 0,15	4,8 \pm 0,10	162,2 \pm 13,74	238,0 \pm 10,89
	20,3 \times 91,4 см	18,3 \pm 0,20	4,9 \pm 0,15	169,7 \pm 11,58	239,8 \pm 10,16
	20,3 \times 96,5 см	18,3 \pm 0,20	4,9 \pm 0,15	168,8 \pm 12,02	239,2 \pm 10,00
НІР ₀₅ , см	Фактор А	0,182	0,072	11,05	2,97
	Фактор В	0,075	0,024	2,06	0,44
	Взаємодія АВ	0,435	0,113	10,05	6,17

Способи сівби також впливали на особливості формування структури врожаю досліджуваних гібридів кукурудзи. За сівби кукурудзи широкорядним способом із шириною міжрядь 70 см (контроль) довжина качана, в середньому за три роки досліджень, склала 17,13 см, діаметр качана – 4,43 см, маса зерна із качана – 132,98 г та маса 1000 зерен – 226,05 г, за схеми сівби 20,3×76,2 см – 17,25 та 4,48 см, 141,30 та 228,28 г, за схеми сівби 20,3×91,4 см – 17,65 та 4,60 см, 150,98 та 229,95 г та за схеми сівби 20,3×96,5 см – 17,65 та 4,60 см, 148,93 та 229,10 г, відповідно.

Отже, використання різних способів сівби забезпечує зміну у формуванні структури врожаю досліджуваних гібридів кукурудзи.

Найкращі умови для формування довжини та діаметру качана, маси зерна з качана та маси 1000 зерен склалися на варіанті із застосуванням 20,3×91,4 см, подальша зміна розміщення рослин мала істотно менші показники структури врожаю.

3.5 Урожайність зерна гібридів кукурудзи

Урожайність це заключний етап вирощування, який показує на скільки ефективним виявився досліджуваний чинник. У кукурудзи окрім загальної урожайності важливе значення має і рівень передзбиральної вологості, оскільки саме він визначає затратність досушування отриманого рівня врожаю.

Фактично урожайністю є результат взаємозв'язку рослин з регульованими, або земними (ґрунтове середовище, поживні речовини, вологи, мікроорганізми та ін.) та не регульованими або космічними факторами (тепло, сонячне світло, повітря, вуглекислий газ тощо) [32, 259]. Вона ступінь ефективності досліджуваного елементу технології вирощування кукурудзи.

Вологість зерна кукурудзи на період збиральних робіт може становити 35–40 %. При цьому досушувати таке зерно потрібно до кондиційної вологості 14 %, що може становити на 1 тону 60–70 % витрат палива від загальної витрати палива на вирощування, тобто 40–60 кг на сушіння 1 т качанів та 30–35 кг – 1 т зерна. Через це у технологіях вирощуванні зернової кукурудзи варто

опиратися в перш за все на зовнішньо керовані фактори, завдяки яким ми зможемо забезпечити оптимальні умови для росту, розвитку та дозрівання урожаю [4, 32, 42].

Характеристику досліджуваних гібридів за урожайністю та рівнем передзбиральної вологості зерна залежно від біологічних особливостей та способів сівби приведено в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9

Урожайність та вологість зерна гібридів кукурудзи залежно від біологічних особливостей та способів сівби

Гібрид (А)	Спосіб сівби за ширини міжрядь 70 см (В)	Вологість зерна, %				Урожайність зерна, т/га			
		2021 р.	2022 р.	2023 р.	середня	2021 р.	2022 р.	2023 р.	середня
СИ Талісман	70 см (контроль)	13,7	18,4	14,8	15,6	7,40	6,54	7,01	6,98
	20,3×76,2 см	14,5	18,5	15,0	16,0	7,97	7,07	7,72	7,59
	20,3×91,4 см	14,9	19,2	15,8	16,6	8,77	8,22	8,48	8,49
	20,3×96,5 см	14,8	18,9	15,6	16,4	8,55	8,10	8,40	8,35
СИ Фотон	70 см (контроль)	14,3	19,2	15,8	16,4	8,61	7,71	8,52	8,28
	20,3×76,2 см	14,5	19,4	15,9	16,6	9,10	8,23	8,92	8,75
	20,3×91,4 см	15,2	20,1	16,3	17,2	9,95	8,80	9,09	9,28
	20,3×96,5 см	15,1	19,6	16,2	17,0	9,67	8,73	8,99	9,13
НК Термо	70 см (контроль)	16,5	20,9	18,3	18,6	9,93	8,61	9,62	9,39
	20,3×76,2 см	16,8	21,2	18,4	18,8	10,65	9,03	10,13	9,93
	20,3×91,4 см	17,7	21,6	19,2	19,5	11,54	9,45	10,60	10,53
	20,3×96,5 см	17,6	21,5	19,0	19,4	11,35	9,33	10,34	10,34
СИ Зефір	70 см (контроль)	18,9	23,8	19,6	20,8	10,66	9,03	10,39	10,03
	20,3×76,2 см	19,5	24,1	20,0	21,2	11,17	9,54	11,00	10,57
	20,3×91,4 см	20,2	24,6	20,6	21,8	11,66	10,21	11,31	11,06
	20,3×96,5 см	20,0	24,6	20,1	21,6	11,60	10,12	11,29	11,00
НІР ₀₅	Фактор А	0,50	0,44	0,36	0,94	0,28	0,29	0,28	0,72
	Фактор В	0,33	0,39	0,28	0,13	0,11	0,15	0,11	0,14
	Взаємодія АВ	0,99	1,26	1,05	1,10	0,49	0,43	0,47	0,65

Передзбиральна вологість зерна істотно залежала від генетичних особливостей гібридів, їх групи стиглості, елементів технології вирощування та кліматичних умов року, особливо періоду інтенсивної вологовіддачі, яка припадає на вересень – жовтень.

В розрізі років досліджень, варто відмітити зростання рівня передзбиральної вологості зерна у досліджуваних гібридів у 2022 році (21,0 %), в період вересня-жовтня місяця якого випало 127,8 мм опадів, тоді як у 2021 році передзбиральна вологість зерна, в середньому за три роки досліджень у досліджуваних гібридів, становила 16,5 % за кількості опадів за період вересень – жовтень – 20,0 мм, а в 2023 році – 17,5 % за кількості опадів 90,7 мм.

В межах досліджуваних гібридів передзбиральна вологість зерна склала у СИ Талісман – 16,2 %, СИ Фотон – 16,7 %, НК Термо – 18,5 % та СИ Зефір – 20,8 %. Тобто чітко прослідковується залежність зростання рівня вологості зерна із подовженням вегетаційного періоду, яке склало у гібридів з ФАО 200–260 на 2,3–4,7 % в порівнянні із гібридами ФАО 330–430.

Способи сівби також впливали на рівень передзбиральної вологості зерна, так застосування широкорядного способу сівби із шириною міжрядь 70 см (контроль) забезпечило найменший рівень передзбиральної вологості зерна [96], в середньому за три роки досліджень у гібридів кукурудзи різних груп стиглості – 17,9 %, схеми посіву 20,3×76,2 см – 18,2 %, 20,3×91,4 см – 18,8 % та 20,3×96,5 см – 18,6 %.

Отже, використання ранньостиглої групи гібридів кукурудзи та широкорядного способу сівби забезпечує найменше значення передзбиральної вологості зерна – 16,27 % та 17,9 %, відповідно.

Рівень урожайності зерна також залежав від гідротермічних умов року досліджень, і становив в середньому за три роки досліджень у досліджуваних гібридів кукурудзи в 2021 році – 9,91 т/га, 2022 році – 8,67 т/га, а в 2023 році – 9,49 т/га.

Найбільший вплив на вологість зерна кукурудзи мали гібридні

особливості (67,3 %) а спосіб сівби впливав лише на 17,3 %. Високий вплив мали погодні умови (інші фактори) – 8,3 % (рис. 3.4).

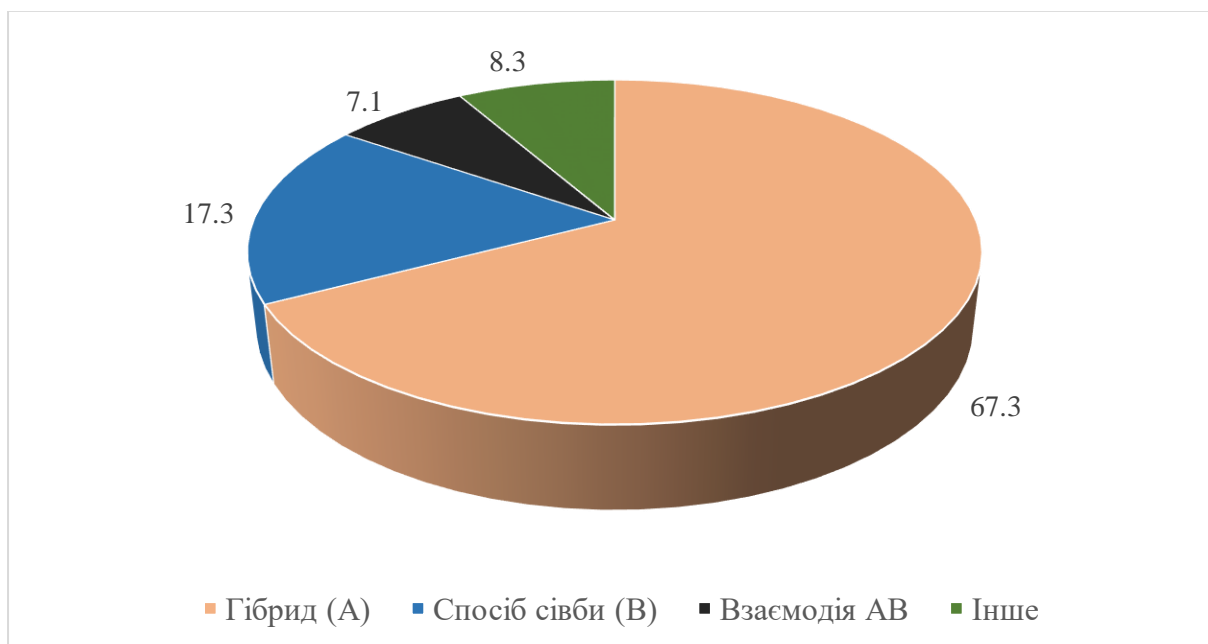


Рис. 3.4. Частка впливу факторів на формування вологості зерна гібридами кукурудзи за різних способів сівби

Найбільш урожайними виявилися гібриди із тривалим вегетаційним періодом, урожайність яких в середньому за три роки досліджень склала НК Термо – 9,7 т/га та СИ Зефір – 10,5 т/га, тоді як у скоростиглих гібридів вона становила СИ Талісман – 7,9 т/га та СИ Фотон – 8,7 т/га. Дане зростання урожайності пізньостиглих гібридів становило 17,5–194 %, відповідно до ранньостиглої групи гібридів.

Найбільшу урожайність зерна гібридів кукурудзи, в середньому за три роки досліджень отримано із застосуванням схеми сівби 20,3×91,4 см – 9,8 т/га, тоді як на контрольному варіанті (ширина міжрядь 70 см) вона становила 8,7 т/га, за використання схему сівби 20,3×76,2 см – 9,2 т/га та 20,3×96,5 см – 9,7 т/га.

На формування врожайності зерна найбільший вплив мав гібридний склад (42,5 %) і спосіб сівби (36,0 %). Взаємодія цих факторів була на рівні 12,3% а вплив інших чинників – 9,2 % (рис. 3.5).

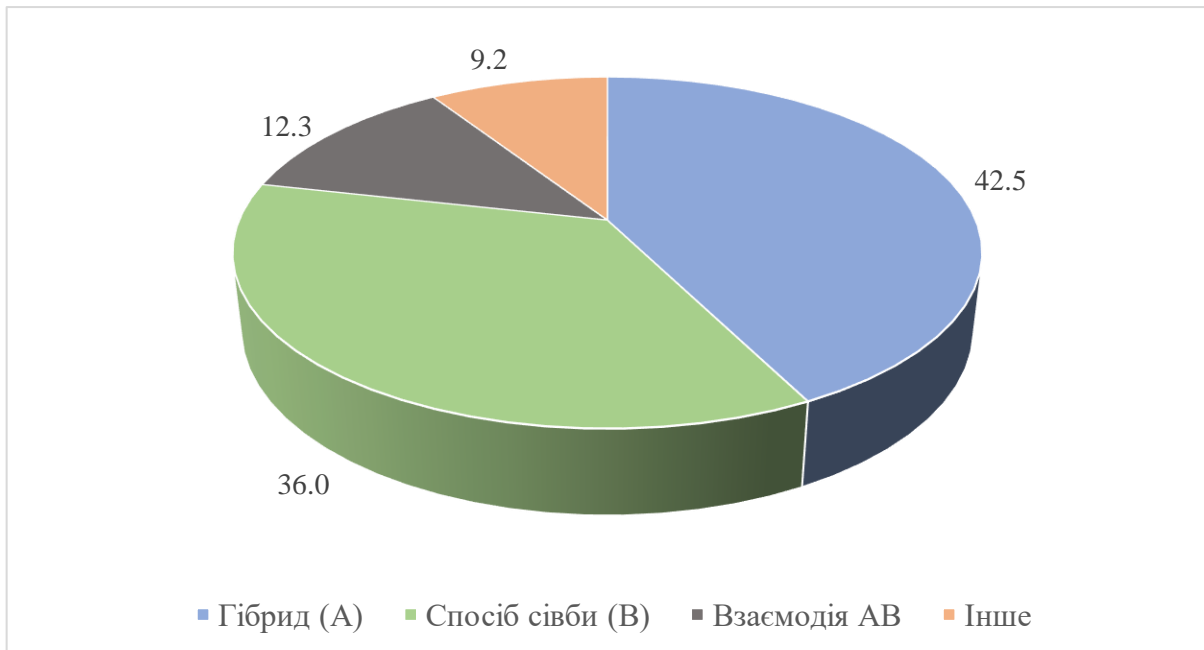


Рис. 3.5. Частка впливу факторів на формування урожайності зерна гібридами кукурудзи за різних способів сівби

Отже, найбільш сприятливою схемою сівби досліджуваних гібридів кукурудзи є $20,3 \times 91,4$ см яка забезпечує найвищий рівень урожайності зерна – 9,8 т/га, що на 1,2 т/га більше в порівнянні із контрольним варіантом та на 0,5–1,0 /га порівняно із іншими схемами посіву.

Висновки до розділу 3:

1. Тривалість періодів «сівба–сходи», «сходи–8 листків», «цвітіння волотей–повна стиглість» та «сходи–повна стиглість зерна» не залежала від способів сівби гібридів кукурудзи, а в більшій мірі визначалася біологічними особливостями, групою стиглості конкретного гібриду та умовами року вегетації

2. Найбільша тривалість вегетаційного періоду була у середньопізннього гібриду СИ Зефір (ФАО 430) – 128, 120 та 132 доби, а найменша у ранньостиглого гібриду СИ Талісман (ФАО 200) – 105, 99 та 108 діб, відповідно в 2021, 2022 та 2023 роках.

3. Найкращим для формування лінійних розмірів рослин був спосіб сівби кукурудзи зі схемою $20,3 \times 91,4$ см, яка, в середньому за роки досліджень,

становила у гібриду СИ Талісман (ФАО 200) – 215,2 см, 220,0 та 220,4 см, СИ Фотон (ФАО 260) – 221,5 см, 226,1 та 226,5 см, НК Термо (ФАО 330) – 228,2 см, 233,4 та 233,1 см, СИ Зефір (ФАО 430) – 235,2 см, 239,8 та 239,9 см, відповідно у фазу цвітіння волотей, молочної стиглості та повної стиглості зерна.

4. Формування висоти рослин у гібридів кукурудзи в фазу 7–8 листків дещо відрізнялося від закономірностей встановлених у більш пізній період росту і розвитку. Зокрема, найбільше значення висоти рослин досліджуваних гібридів кукурудзи у цій фазі відмічене на контрольному варіанті за ширини міжрядь 70 см, СИ Талісман (ФАО 200) – 41,0 см, СИ Фотон (ФАО 260) – 44,4 см, НК Термо (ФАО 330) – 48,2 см та СИ Зефір (ФАО 430) – 53,9 см, а найменше за схеми сівби 20,3×96,5 см – 38,6 см, 41,9 см, 45,7 та 50,9 см, відповідно.

5. Спосіб сівби також впливав на висоту закладання качанів, найбільше значення кріплення качанів, в середньому за роки досліджень, відмічено за схеми сівби 20,3×91,4 см – 67,1 см, 74,1 см, 97,5 та 122,8 см.

6. Максимальні значення площі листової поверхні у рослин досліджуваних гібридів кукурудзи встановлено у фазі цвітіння волотей, а саме 33,53–42,50 тис. м²/га. В подальшому починаючи з фази молочної стиглості, показники площі листової поверхні мали тенденцію до зменшення, внаслідок часткового відмирання листя у нижньому ярусі.

7. Застосування різних способів сівби може істотно впливати на формування площі листової поверхні у досліджуваних гібридів кукурудзи. Найкращі параметри площі листової поверхні склалися за схеми сівби 20,3×96,5 см у гібриду СИ Талісман (ФАО 200) у фазу цвітіння волотей – 35,07 тис. м²/га, молочної стиглості зерна – 33,47 тис. м²/га та повної стиглості зерна 30,10 тис. м²/га, у гібриду СИ Фотон (ФАО 260) – 36,53 тис. м²/га, 34,87 та 31,67 тис. м²/га, НК Термо (ФАО 330) – 39,93 тис. м²/га, 38,37 та 35,03 тис. м²/га, СИ Зефір (ФАО 430) – 42,50 тис. м²/га, 40,87 та 37,17 тис. м²/га, відповідно у фазу цвітіння волотей, молочної та повної стиглості зерна.

9. Встановлено зростання фотосинтетичного потенціалу досліджуваних гібридів кукурудзи за застосування схеми сівби $20,3 \times 96,5$ см на $0,95-6,39$ % порівняно із іншими способами сівби. В порівнянні із контрольним варіантом збільшення фотосинтетичного потенціалу за застосування схеми сівби $20,3 \times 96,5$ см становило $4,97-6,39$ %

10. Найбільшу величину чистої продуктивності фотосинтезу встановлено у гібриду СИ Талісман у фазу 7–8 листків за схеми посіву $20,3 \times 91,4$ см – $6,643$ г/м² за добу, у фазу цвітіння волотей $20,3 \times 96,5$ см – $8,948$ г/м² за добу та у фазу воскової стиглості $20,3 \times 91,4$ см – $5,543$ г/м² за добу, середньораннього СИ Фотон у фазу 7–8 листків, цвітіння волотей та воскової стиглості за схеми посіву $20,3 \times 91,4$ см – $7,100$ г/м² за добу, $9,438$ та $6,517$ г/м² за добу, відповідно, середньостиглого НК Термо (ФАО 330) у фазу 7–8 листків за схеми посіву $20,3 \times 76,2$ см – $7,435$ г/м² за добу, у фазу цвітіння волотей та воскової стиглості за схеми посіву $20,3 \times 91,4$ см – $10,098$ та $7,163$ г/м² за добу, відповідно, середньопізнього гібриду СИ Зефір (ФАО 430) у фазу 7–8 листків за схеми посіву $20,3 \times 96,5$ см – $8,169$ г/м² за добу, у фазу цвітіння волотей $20,3 \times 91,4$ см – $10,919$ г/м² за добу та воскової стиглості за схеми посіву $20,3 \times 96,5$ см – $6,854$ г/м² за добу.

11. Використання різних способів сівби забезпечує зміну у формуванні структури врожаю досліджуваних гібридів кукурудзи. Найкращі умови для формування довжини ($17,65$ см) та діаметру качана ($4,60$ см), маси зерна з качана ($150,98$ г) та маси 1000 зерен ($229,95$ г) склалися на варіанті із застосуванням схеми сівби $20,3 \times 91,4$ см, подальша зміна розміщення рослин мала істотно менші показники структури врожаю.

12. Використання ранньостиглої групи гібридів кукурудзи та широкорядного способу сівби забезпечує найменше значення передзбиральної вологості зерна – $16,27$ % та $17,9$ %, відповідно. Найбільш сприятливою схемою сівби досліджуваних гібридів кукурудзи є $20,3 \times 91,4$ см яка забезпечує найвищий рівень урожайності зерна – $9,8$ т/га, що на $1,2$ т/га більше в порівнянні із контрольним варіантом та на $0,5-1,0$ /га порівняно із іншими

схемами посіву.

Основні положення дисертації викладені в наукових працях [96, 261, 262].

РОЗДІЛ 4

ВПЛИВ ЗАСТОСУВАННЯ АМІАЧНОЇ СЕЛІТРИ І МІКРОДОБРИВ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ КУКУРУДЗИ

4.1 Тривалість вегетаційного періоду та окремих його частин залежно від системи удобрення кукурудзи

Тривалість вегетаційного періоду в цілому та окремих його частин може істотно змінюватися під впливом оптимізації живлення рослин кукурудзи. Ефективність живлення залежить від застосування позакореневих підживлень які в свою чергу визначаються співвідношенням між мікроелементами та макроелементами, що тісно взаємодіють між собою в біохімічних процесах в рослинному організмі.

Використання підживлень у системі удобрення кукурудзи сприяє поглинанню елементів живлення усіма надземними частинами, в тому числі листовою поверхнею та стеблом, особливо це важливо для критичних періодів росту та розвитку рослин кукурудзи, коли необхідно забезпечити оптимальне та збалансоване живлення рослинного організму.

Листкове підживлення поліпшує синтез у рослинах хлорофілу, що сприяє кращому забарвленню листя та підвищує фотосинтез і позитивно впливає на фотосинтетичну активність рослин, забезпечуючи їх ріст та розвиток. Варто відзначити, що за рахунок стимулювання синтезу ауксинів та інших коренестимулюючих речовин, позакореневе підживлення забезпечує кращий розвиток кореневої системи рослин кукурудзи та покращує засвоєння води і елементів живлення із ґрунту. Крім того підвищена активність кореневої системи і покращений стан листової поверхні сприяють покращенню газообміну і поглинанню води з навколишнього середовища [3, 33, 42].

Характеристику тривалості вегетаційного періоду залежно від системи удобрення приведено в таблиці 4.1 та додатку Г1. Результатами проведених досліджень встановлена залежність тривалості вегетації та окремих її періодів у досліджуваного гібриду кукурудзи СИ Зефір від гідротермічних умов.

Таблиця 4.1

Тривалість вегетаційного періоду та окремих його частин у гібриду кукурудзи СИ Зефір (ФАО 430) залежно від системи удобрення, діб
(середнє за 2021–2023 рр.)

Система удобрення	Періоди вегетації				
	«сівба–сходи»	«сходи–8 листків»	«8 листків–цвітіння волотей»	«цвітіння волотей–повна стиглість зерна»	«сходи–повна стиглість зерна»
Без внесення добрив (контроль)	9	38	26	61	125
N ₄₀ перед сівбою	9	38	26	61	125
N ₄₀ перед сівбою + Нутривант Плюс Кукурудза	9	39	27	61	127
N ₄₀ перед сівбою + Вуксал Р Мах	9	39	27	61	127
N ₄₀ перед сівбою + Розалік Zn, P, N, S	9	39	27	61	127

Так, зокрема у 2021 році тривалість періоду «сівба–сходи» становила 7 діб, в 2022 році 11 діб, а в 2023 році 9 діб, «сходи–8 листків» – 40,6 діб, 37,6 та 38,6 діб, «8 листків–цвітіння волотей» – 26,6 діб, 23,6 та 28,6 діб, «цвітіння волотей–повна стиглість зерна» – 62 доби, 60 та 61 доба, «сходи–повна стиглість зерна» – 129,2 діб, 121,2 та 128,2 діб (див. додаток Г1).

Із даних таблиці 4.1 видно, що система удобрення не впливала на тривалість періоду «сівба–сходи», і в середньому за три роки вона склала 9 діб. Період «сходи–8 листків» на контрольному варіанті та на варіанті із застосуванням N₄₀ перед сівбою, в середньому за три роки, становила 38 діб, на варіантах N₄₀ перед сівбою + Нутривант Плюс Кукурудза, N₄₀ перед сівбою + Вуксал Р Мах та N₄₀ перед сівбою + Розалік Zn, P, N, S вона збільшилась на 1

добу і склала 39 діб. Встановлено також зростання тривалості періоду «8 листків–цвітіння волотей» на 1 добу за системи удобрення із внесенням азотних добрив + мікроелементи.

У тривалості періоду «цвітіння волотей–повна стиглість зерна» не встановлено залежності від системи застосування добрив, і в середньому за три роки вона склала 61 добу.

Тривалість періоду «сходи–повна стиглість зерна» на контрольному варіанті та на варіанті із внесенням лише азотних добрив (N_{40} перед сівбою), в середньому за три роки, становила 125 діб, на варіантах із внесення азотних добрив у поєднанні із мікродобривами (N_{40} перед сівбою + Нутривант Плюс Кукурудза; N_{40} перед сівбою + Вуксал Р Мах; N_{40} перед сівбою + Розалік Zn, P, N, S) – 127 діб.

Тобто, внесення азотних добрив у поєднанні із мікродобривами (N_{40} перед сівбою + Нутривант Плюс Кукурудза; N_{40} перед сівбою + Вуксал Р Мах; N_{40} перед сівбою + Розалік Zn, P, N, S), забезпечує у гібриду кукурудзи СИ Зефір зростання тривалості періоду «сходи–8 листків» та «8 листків–цвітіння волотей» на 1 добу, а тривалості періоду вегетації на 2 доби відносно контрольного варіанту (без внесення добрив) та варіанту де вносилося лише азотне добриво (N_{40} перед сівбою).

4.2. Формування фотосинтетичних показників посівів кукурудзи та висоти рослин залежно від застосування аміачної селітри і мікродобрив

Для отримання максимального рівня продуктивності кукурудзи важливо оптимізувати швидкість формування асиміляційного апарату та сприяти максимальній тривалості активності і площі листової поверхні. Прямим чинником фотосинтетичної активності рослини кукурудзи є розмір асиміляційного листового апарату та період його активного функціонування. Основним органом фотосинтезу є листок, хоча фотосинтетична діяльність може відбуватися і в інших органах рослини, і для максимальної ефективності фотосинтезу рослини мають сформувати оптимальну площу листової

поверхні.

Одним із факторів регулювання фотосинтетичної діяльності кукурудзи є оптимізація надходження елементів живлення до рослин, які будуть забезпечувати збільшенню утворення сухих речовин, а відповідно і урожайності зерна.

Дослідженнями ряду вчених [3, 7] встановлено, що отримання потенційного рівня урожайності безпосередньо визначається продуктивністю фотосинтезу та може змінюватися в процесі онтогенезу залежно від біологічних особливостей гібридів, ярусу листків, їх віку, розміщення на рослині та умов вирощування, зокрема забезпеченості елементами живлення. Застосування нових екологічно безпечних та ефективних мікродобрив відіграє важливу роль у формуванні високої продуктивності фотосинтетичної діяльності рослин [76, 263, 264].

М. В. Минкін, О. Г. Берднікова, Г. О. Минкіна [263] вказує на те що зменшення асимілятивної поверхні кукурудзи призводить до зниження продуктивності рослин.

Найбільш сприятливі умови для формування урожаю створюються за значення загальної площі листової поверхні яка в 3–4 а то і в 6 раз перевищує площу ґрунту на якій розміщені рослини [3, 32].

Т. Ю. Марченко, Ю. О. Лавриненко, О. О. Пілярська та ін. [265] вказують, що збільшення кількості сформованої сирої маси рослин на посівах кукурудзи забезпечується завдяки внесенні в системі удобрення мікродобрив. Існування прямої залежності урожайності біомаси кукурудзи і рівня розмірів фотосинтетичної поверхні підтверджують і інші науковці [3, 4, 43].

Покращення асиміляційної діяльності рослин та збільшення урожайності зерна можливі в першу чергу завдяки оптимізації надходження елементів живлення у високоефективних системах удобрення. В цьому аспекті для фотосинтетичної діяльності крім макроелементів важливе значення мають і мікроелементи такі як мідь, цинк, залізо та ін., саме від них істотно залежить активність роботи всієї фотосинтезуючої системи рослин [198, 204, 264].

Характеристику площі листової поверхні у гібриду кукурудзи СИ Зефір залежно від системи удобрення приведено в таблиці 4.2 та додатку Г2.

Таблиця 4.2

Динаміка зміни площі листової поверхні у гібриду кукурудзи СИ Зефір залежно від фази розвитку та системи удобрення, тис. м²/га (середнє за 2021–2023 рр.)

Система удобрення	Фаза розвитку рослин кукурудзи			
	7–8 листків	цвітіння волотей	молочна стиглість зерна	повна стиглість зерна
Без внесення добрив (контроль)	8,07	39,67	38,07	34,10
N ₄₀ перед сівбою	8,13	41,33	39,40	35,65
N ₄₀ перед сівбою + Нутривант Плюс Кукурудза	8,23	43,07	40,33	36,80
N ₄₀ перед сівбою + Вуксал Р Мах	8,27	43,73	41,43	37,45
N ₄₀ перед сівбою + Розалік Zn, P, N, S	8,23	43,03	41,13	37,25
НІР ₀₅ , тис. м ² /га	0,033	1,13	1,10	0,49

Найбільш сприятливим за гідротермічними показниками для формування площі листової поверхні виявився 2021 рік, в якому вона становила у фазу 7–8 листків – 8,34 тис. м²/га, цвітіння волотей – 43,32 тис. м²/га, молочної стиглості зерна – 41,24 тис. м²/га та повної стиглості зерна – 38,38 тис. м²/га, тоді як в 2023 році – 8,03 тис. м²/га, 41,98 тис. м²/га, 40,34 та 37,76 тис. м²/га, а в 2022 році – 8,20 тис. м²/га, 41,20 тис. м²/га, 38,64 та 34,74 тис. м²/га, відповідно за фазами розвитку кукурудзи (див. додаток Г2). Тобто кліматичні умови 2021 року виявилися більш сприятливими для формування облистеності досліджуваного гібриду кукурудзи.

Найбільше значення площі листової поверхні у гібриду СИ Зефір, в середньому за три роки дослідження відмічено на варіанті із застосуванням азотних добрив (N₄₀ перед сівбою) у поєднанні із мікродобривом Вуксал Р Мах – 8,27 тис. м²/га, 43,73 тис. м²/га, 41,43 та 37,45 тис. м²/га, відповідно за фазами розвитку. В порівнянні із контрольним варіантом (без внесення добрив)

зростання площі листової поверхні даного варіанту склало 0,20–4,06 тис. м²/га. Інші варіанти удобрення мали збільшення площі листової поверхні відносно контролю на 0,06–3,40 тис. м²/га.

Між площею листкової поверхні у фазу цвітіння та урожайністю зерна кукурудзи встановлено високий рівень взаємозв'язку ($r = 0.99$) (рис. 4.1).

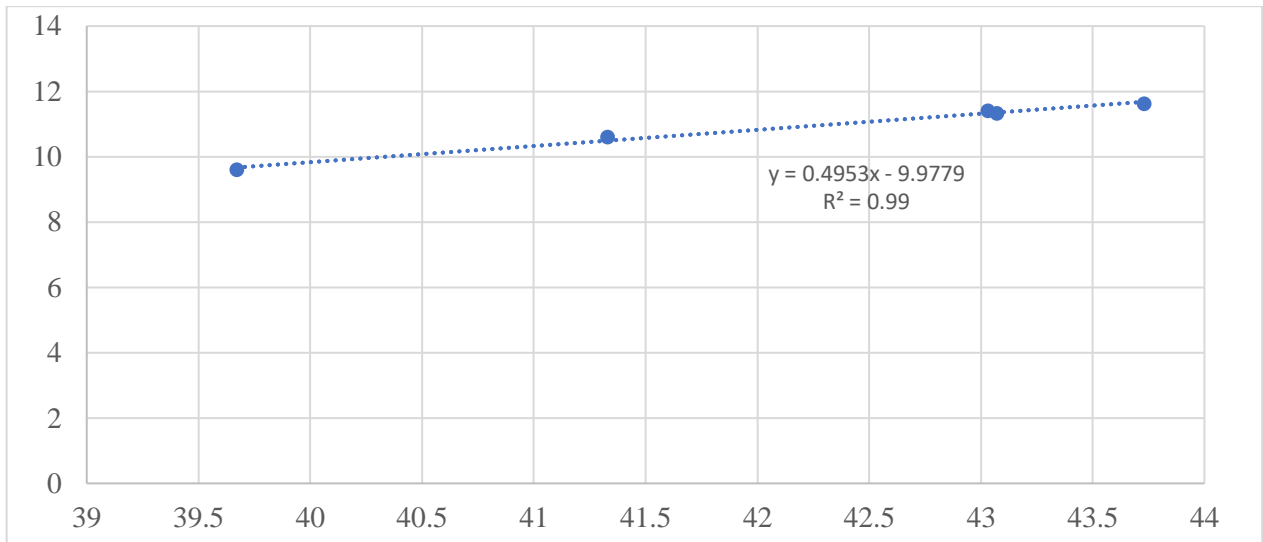


Рис. 4.1. Кореляційна залежність між площею листкової поверхні у фазу цвітіння та урожайністю зерна кукурудзи за різної системи удобрення

Отже, застосування азотних добрив (N₄₀ перед сівбою) у поєднанні із мікродобривом Вуксал Р Мах сприяє найкращій оптимізації рослин елементами живлення і відповідно формуванню найбільшої асиміляційної поверхні на усіх фазах розвитку гібриду СИ Зефір (8,27 тис. м²/га, 43,73 тис. м²/га, 41,43 та 37,45 тис. м²/га).

У дослідженнях М. І. Дудка та ін. [85] відмічено збільшення площі листової поверхні однієї рослини кукурудзи за рахунок внесення у фазу 5–6 листків карбаміду (10 кг/га) у поєднанні із мікродобривом хелат цинку (1,5 л/га) на 7,7 %, порівняно із контролем на 15,4 %, а у поєднанні із препаратом Квантум-кукурудза – на 20,5 %.

В подальшому оптимізація живлення рослин кукурудзи та збільшення площі листової поверхні дозволить підвищити урожайність зерна та силосної маси і поліпшити якість продукції. Рівень розвитку площі асиміляційної поверхні визначає фотосинтетичний потенціал посіву кукурудзи (табл. 4.3 та

додаток ГЗ).

Таблиця 4.3

Фотосинтетичний потенціал кукурудзи залежно від періоду вегетації та системи удобрення, млн м² діб/га (середнє за 2021–2023 рр.)

Система удобрення	Період вегетації		
	«7–8 листків – цвітіння волотей»	«цвітіння волотей–молочна стиглість зерна»	«7–8 листків–повна стиглість зерна»
Без внесення добрив (контроль)	0,617	1,125	1,935
N ₄₀ перед сівбою	0,637	1,170	2,004
N ₄₀ перед сівбою + Нутривант Плюс Кукурудза	0,685	1,251	2,096
N ₄₀ перед сівбою + Вуксал Р Мах	0,695	1,277	2,121
N ₄₀ перед сівбою + Розалік Zn, P, N, S	0,685	1,262	2,110
НІР ₀₅ , млн м ² діб/га	0,012	0,030	0,020

Найвище значення фотосинтетичного потенціалу гібриду кукурудзи СИ Зефір відмічено у 2021 році в період «цвітіння волотей–молочна стиглість зерна» – 1,252 млн м² діб/га, «7–8 листків–повна стиглість зерна» – 2,084 млн м² діб/га, тоді як в 2022 році він становив – 1,222 та 2,023 млн м² діб/га, а в 2023 році – 1,176 та 2,052 млн м² діб/га, відповідно. У період «7–8 листків – цвітіння волотей» найкраще значення фотосинтетичного потенціалу отримано в 2023 році – 0,720 млн м² діб/га, тоді як в 2022 році воно становило – 0,584 млн м² діб/га, а в 2021 році – 0,687 млн м² діб/га (див. додаток ГЗ).

Система удобрення також впливала на значення фотосинтетичного потенціалу у гібриду кукурудзи СИ Зефір. Так, зокрема найвище значення фотосинтетичного потенціалу гібриду СИ Зефір у всі періоди вегетації отримано на варіанті із внесенням азотних добрив (N₄₀ перед сівбою) у поєднанні із мікродобривом Вуксал Р Мах – 0,695 млн м² діб/га, 1,277 та 2,121 млн м² діб/га, відповідно. На контрольному варіанті (без внесення добрив) значення фотосинтетичного потенціалу виявилось найнижчим на усіх періодах росту і

розвитку – 0,617 млн м² діб/га, 1,125 та 1,935 млн м² діб/га, відповідно.

Кореляційна залежність між фотосинтетичним потенціалом у період «7–8 листків – повна стиглість зерна» та урожайністю зерна кукурудзи перебуває на високому рівні ($r = 0,99$, $R^2 = 0,98$) (рис. 4.2).

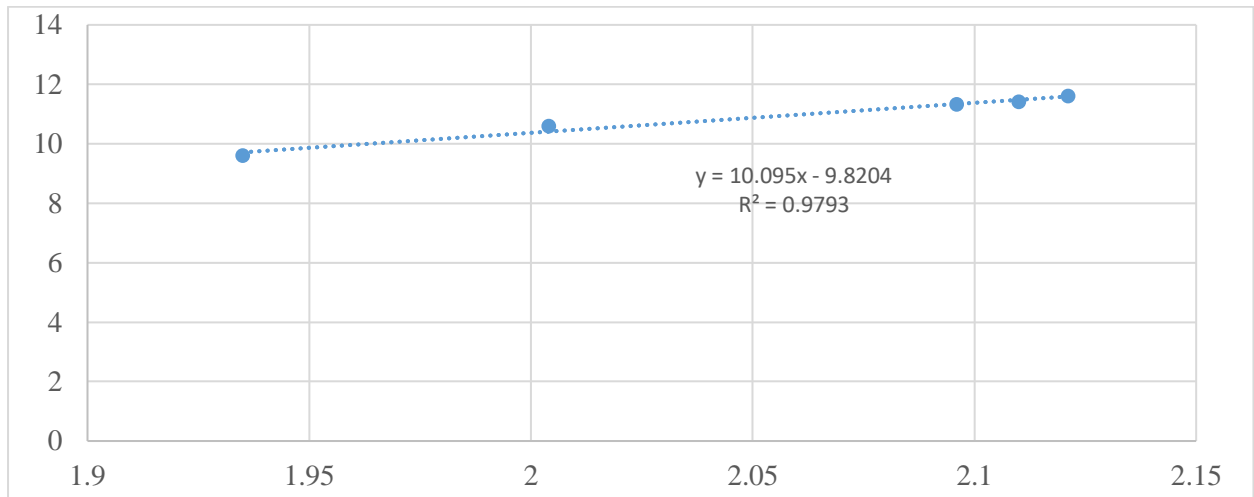


Рис. 4.2. Кореляційна залежність між фотосинтетичним потенціалом у період «7–8 листків – повна стиглість зерна» та урожайністю зерна кукурудзи

Наступним показником ефективності фотосинтетичної діяльності посівів кукурудзи є чиста продуктивність фотосинтезу. Нами встановлено, що кількість утвореної органічної речовини в процесі фотосинтезу істотно змінюється в залежності від забезпеченості кукурудзи елементами живлення (табл. 4.4 та додаток Г4).

Таблиця 4.4

Чиста продуктивність посіву гібриду СИ Зефір залежно від фази розвитку та системи удобрення, г/м² за добу (середнє за 2021–2023 рр.)

Система удобрення	Фаза росту і розвитку кукурудзи		
	«7–8 листків»	«цвітіння волотей»	«воскова стиглість зерна»
Без внесення добрив (контроль)	6,293	10,767	6,373
N ₄₀ перед сівбою	6,456	11,003	6,185
N ₄₀ + Нутрівант Плюс Кукурудза	6,549	10,799	6,228
N ₄₀ перед сівбою + Вуксал Р Мах	6,713	10,864	6,323
N ₄₀ + Розалік Zn, P, N, S	6,604	10,688	6,109
НІР ₀₅ , г/м ² за добу	0,266	0,392	0,111

Найвище значення чистої продуктивності фотосинтезу у посівах гібриду Си Зефір у фазу цвітіння волоті та воскової стиглості зерна отримано в 2021 році – 12,247 та 6,316 г/м² за добу, в 2022 році вона становила – 9,757 та 6,150 г/м² за добу, а в 2023 році – 10,469 та 6,264 г/м² за добу. У фазу 7–8 листків кукурудзи найвище значення чистої продуктивності отримано у 2023 році 6,771 г/м² за добу, тоді як у 2021 та 2022 році вона становила – 6,654 та 6,144 г/м² за добу, відповідно (див. додаток Г4).

Система удобрення також впливала на показники чистої продуктивності посіву гібриду кукурудзи СИ Зефір. Найвищі показники чистої продуктивності фотосинтезу, в середньому за три роки досліджень, отримані на варіанті із внесенням азотних добрив (N₄₀ перед сівбою) у поєднанні із мікродобривом Вуксал Р Мах – 6,713 г/м² за добу, 10,864 та 6,323 г/м² за добу, відповідно у фазу 7–8 листків, цвітіння волотей та воскової стиглості зерна.

Кореляційна залежність між чистою продуктивністю фотосинтезу у фазу воскової стиглості зерна та урожайністю кукурудзи має обернено пропорційну залежність ($r = -0.48$) (рис. 4.3).

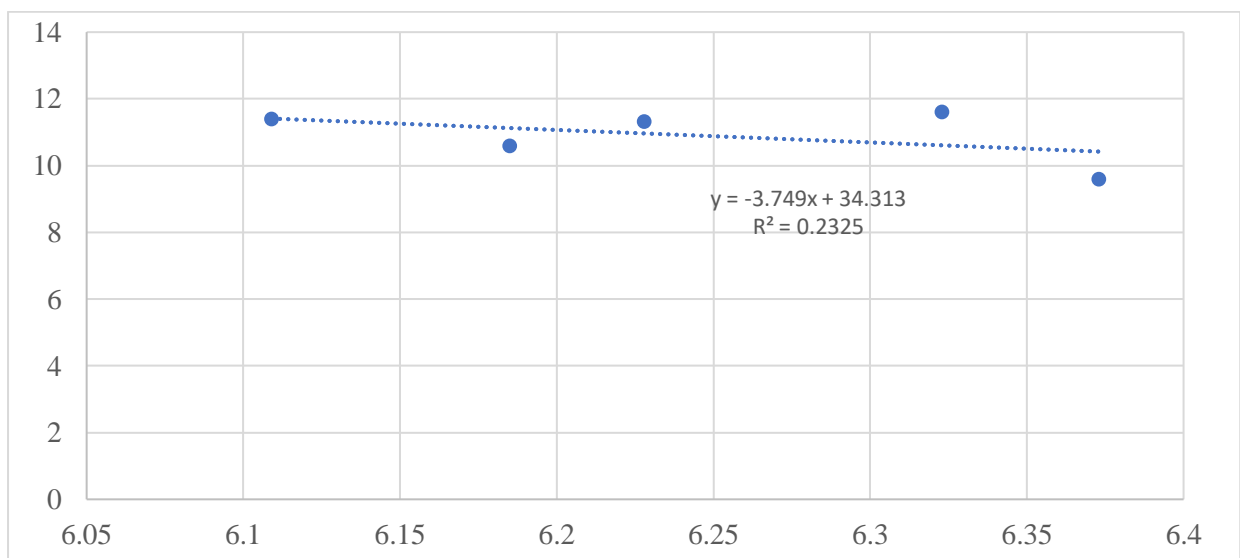


Рис. 4.3. Кореляційна залежність між чистою продуктивністю фотосинтезу у фазу воскової стиглості зерна та урожайністю кукурудзи

Основою потенційної урожайності даної культури є фотосинтетична діяльність та величина лінійних розмірів рослин. Морфологічні ознаки такі як висота рослин, якісно відображають вплив факторів навколишнього

середовища та елементів технології на продуктивність

Застосування мікро- та макроелементів у вигляді позакореневих підживлень має важливе значення для формування висоти рослин кукурудзи. В умовах, за яких доступність елементів живлення з ґрунту обмежена або коли погодні умови сприяють зниженню засвоєння елементів живлення кореневою системою рослин важливе значення відіграють позакореневі підживлення [3, 42]. Крім того застосування позакореневих підживлень забезпечує підвищення урожайності, оптимізує живлення рослин в період вегетації.

В наших дослідженнях внесення добрив передбачало застосування азоту в нормі 40 кг д. р. / га перед сівбою та внесення мікродобрив Нутривант Плюс Кукурудза, Розалік Zn, P, N, S у підживлення (табл. 4.5 та додаток Г5).

Таблиця 4.5

Висота рослин у гібриду кукурудзи СИ Зефір залежно від фази розвитку та системи удобрення, см (середнє за 2021–2023 рр.)

Система удобрення	Фаза росту і розвитку кукурудзи			
	«7–8 листків»	«цвітіння волотей»	«молочна стиглість зерна»	«повна стиглість зерна»
Без внесення добрив (контроль)	50,1	224,0	229,4	230,2
N ₄₀ перед сівбою	53,9	229,3	234,6	235,4
N ₄₀ перед сівбою + Нутривант Плюс Кукурудза	54,5	231,7	236,2	237,1
N ₄₀ перед сівбою + Вуксал Р Мах	54,5	232,6	237,3	238,0
N ₄₀ перед сівбою + Розалік Zn, P, N, S	54,2	232,8	236,8	237,8
НІР ₀₅ , см	0,6	2,9	3,6	3,8

Найкращі показники для формування лінійних розмірів рослин гібриду кукурудзи СИ Зефір за гідротермічними показниками склалися в 2021 році, про що свідчить середнє значення висоти рослин у цей рік – 54,0 см, 237,8 см, 242,6 та 243,0 см, відповідно у фазу 7–8 листків, цвітіння волотей, молочної та повної стиглості зерна, тоді як в 2022 році висота рослин була – 52,9 см, 218,0 см, 223,3 та 223,8 см, а в 2023 році – 53,4 см, 234,4 см, 238,6 та 240,3 см, відповідно за фазами розвитку.

Зростання висоти рослин у 2021 році в порівнянні із 2022 та 2023 роками становило у фазу 7–8 листків – 0,6–1,1 см, цвітіння волотей – 3,4–19,8 см, молочної (4,0–19,4 см) та повної стиглості зерна (2,7–19,2 см) (див. дод. Г5).

Мінеральне живлення рослин є важливим фактором, що обумовлює ростові процеси та фотосинтетичну діяльність, поліпшує інтенсивність обміну речовин між рослинами та навколишнім середовищем [4, 33, 43].

Результатами проведених досліджень встановлено, що застосування азотних добрив та мікроелементів суттєво поліпшує ростові процеси та відповідно формування висоти рослин (див. табл. 4.5). Найбільші показники висоти рослин, в середньому за три роки, гібриду СИ Зефір сформувалися на варіанті із внесенням азотних добрив перед сівбою у нормі 40 кг д. р. /га у поєднанні із внесенням мікродобрива Вуксал Р Мах – 54,5 см у фазу 7–8 листків кукурудзи, 232,6 см у фазу цвітіння волотей, 237,3 см у фазу молочної стиглості зерна та 238,0 у фазу повної стиглості зерна, тоді як на контрольну варіанті висота рослин становила – 50,1 см, 224,0 см, 229,4 та 230,2 см, відповідно за фазами росту і розвитку.

Інші варіанти удобрення також забезпечували зростання висоти рослин гібриду кукурудзи СИ Зефір, яке становило у фазу 7–8 листків 3,8–4,4 см, цвітіння волотей – 5,3–8,8 см, молочної стиглості зерна – 5,2–7,4 см та повної стиглості зерна – 5,2–7,6 см в порівнянні до контрольного варіанту (без внесення добрив).

Отримані нами результати досліджень повністю підтверджують вплив елементів живлення на прояв морфологічних ознак у гібридів кукурудзи

висвітлений у науковій літературі [3, 198, 203, 254].

Отже, поліпшення живлення рослин за рахунок використання добрив сприяє оптимізації ростових процесів рослин гібриду кукурудзи СИ Зефір, що в кінцевому результаті відображається на значенні лінійних розмірів рослин кукурудзи. Формування архітектоніки посіву середньопізнього гібриду кукурудзи СИ Зефір істотно залежить від системи застосування добрив, у зв'язку із цим застосування азотних добрив та позакореневих підживлень є ефективним елементом поліпшення лінійних розмірів рослин та оптимізації оптимальних параметрів архітектоніки посіву кукурудзи.

4.3 Вплив рівня мінерального живлення на елементи структури врожаю кукурудзи

Формування елементів структури врожаю істотно залежить від забезпеченості рослин кукурудзи елементами живлення В даних літературних джерел приведено багато інформації які підтверджує взаємозв'язок формування елементів структури врожаю та застосування добрив [3, 33, 42].

Характеристику структури врожаю гібриду кукурудзи СИ Зефір залежно від застосування азотних добрив та мікроелементів приведено в таблиці 4.6 та додатку Гб.

Параметри структури врожаю гібриду кукурудзи СИ Зефір істотно змінювалися в залежності від гідротермічних умов року. Зокрема, найвище значення елементів структури врожаю відмічене в 2021 році – довжина качана 18,2 см, діаметр качана – 5,0 см, маса зерна із качана 177,7 г та маса 1000 зерен – 267,0 г, тоді як в 2022 році вони склали – 18,0 см, 4,7 см, 155,4 та 249,8 г, а в 2023 році – 18,2 см, 4,9 см, 168,9 та 261,5 г, відповідно (див. додаток Г5).

На вплив гідротермічних умов року на величину формування структури врожаю гібридів кукурудзи вказують і інші науковці. Зокрема В. Черчель, В. Дзюбецький, В. Марочко [266] відмічають що посуха негативно впливає на елементи структури врожаю (зменшується кількість качанів на рослині, розмір качана та вихід зерна з нього), висоту рослин, розмір міжвузля, листя та ін.

Таблиця 4.6

Структура врожаю гібриду кукурудзи СИ Зефір залежно від системи удобрення (середнє за 2021–2023 рр.)

Система удобрення	Елементи структури врожаю			
	довжина качана, см	діаметр качана, см	маса зерна з качана, г	маса 1000 зерен, г
Без внесення добрив (контроль)	17,9	4,7	147,3	238,6
N ₄₀ перед сівбою	18,1	4,8	162,6	260,5
N ₄₀ перед сівбою + Нутривант Плюс Кукурудза	18,2	4,9	173,6	265,2
N ₄₀ перед сівбою + Вуксал Р Мах	18,3	5,0	178,2	267,6
N ₄₀ перед сівбою + Розалік Zn, P, N, S	18,2	5,0	174,9	265,4
НІР ₀₅	0,16	0,10	5,45	3,63

Із даних таблиці 4.6 видно, що найкращі умови живлення рослин складаються на варіанті із внесенням азотних добрив (N₄₀ перед сівбою) у поєднанні із мікродобривом Вуксал Р Мах, які забезпечують найвищі параметри структури врожаю, довжину качана – 18,3 см, діаметр качана – 5,0 см, масу зерна з качана – 178,2 г та маса 1000 зерен – 267,6 г, що на 0,3 см, 0,4 см, 30,9 г та 29,0 г більше в порівнянні із контрольним варіантом (без внесення добрив).

Зростання параметрів структури врожаю у інших варіантах удобрення порівняно із контролем становило, на варіанті внесення N₄₀ перед сівбою – на 0,2 см, 0,1 см, 15,3 г та 21,9 г; N₄₀ перед сівбою + Нутривант Плюс Кукурудза – 0,3 см, 0,2 см, 26,3 г та 26,6 г; N₄₀ перед сівбою + Розалік Zn, P, N, S – 0,3 см, 0,3 см, 27,6 г та 26,8 г, відповідно.

Отже, покращення умов живлення рослин за рахунок внесення азотних

добрив та мікроелементів веде до зростання параметрів структури врожаю у гібриду кукурудзи СИ Зефір.

4.4. Урожайність зерна кукурудзи залежно від використання аміачної селітри і мікродобрив

Урожайність зерна кукурудзи суттєво залежить від застосування оптимального режиму живлення рослин. Особливу увагу у оптимізації живлення рослин мають цинквмістні добрива, які використовуються для позакореневого внесення [3, 33, 42].

Крім урожайності ми враховували ефективність різних систем удобрення щодо втрати вологи зерном кукурудзи (табл. 4.7).

Таблиця 4.7

Урожайність і вологість зерна у гібриду кукурудзи СИ Зефір залежно від системи удобрення

Система удобрення	Вологість зерна, %				Урожайність зерна, т/га			
	2021 р.	2022 р.	2023 р.	середня	2021 р.	2022 р.	2023 р.	середня
Без внесення добрив (контроль)	20,6	24,3	21,2	22,0	10,08	9,10	9,62	9,60
N ₄₀ перед сівбою	20,8	24,8	22,1	22,6	11,43	9,78	10,58	10,60
N ₄₀ перед сівбою + Нутривант Плюс Кукурудза	20,8	25,2	22,0	22,7	12,10	10,51	11,33	11,32
N ₄₀ перед сівбою + Вуксал Р Мах	21,2	25,7	23,4	23,4	12,29	10,78	11,76	11,61
N ₄₀ перед сівбою + Розалік Zn, P, N, S	21,2	25,3	23,2	23,2	12,01	10,45	11,74	11,40
НІР ₀₅	0,49	0,78	1,99	0,67	0,24	0,33	0,30	0,35

В літературі існують повідомлення про те що поліпшення умов живлення

рослин кукурудзи може подовжувати інтенсивність біохімічних реакцій у зерні та зберігати при цьому високу передзбиральну вологість урожаю, що є негативним фактором оскільки потребує збільшення затрат на досушування [3, 33, 42, 76, 187].

Оскільки гібрид СИ Зефір є типовим представником групи середньопізніх гібридів (ФАО 430) рівень вологості зерна у нього відповідно до біологічних особливостей є підвищеним і на контрольному варіанті (без застосування добрив) за роки досліджень знаходився в межах 20,6–24,3 %. Застосування азотних добрив N_{40} перед сівбою сприяло зростанню вологості зерна, в середньому за три роки досліджень, на 0,6 %, поєднання внесення азотних добрив (N_{40} перед сівбою) із внесенням мікродобрива Нутривант Плюс Кукурудза на – 0,7%, із мікродобривом Вуксал Р Мах на – 1,4 %, мікродобрива Розалік Zn, P, N, S на – 1,2 %.

Отже, найвище значення передзбиральної вологості зерна отримано на варіанті де вносилося азотне добриво N_{40} перед сівбою у поєднанні із мікродобривом Вуксал Р Мах – 23,4 %, тоді як на контрольному варіанті (без добрив) вона становила – 22,0 %.

Рівень урожайності зерна у гібриду СИ Зефір також істотно залежав від кліматичних умов року, найвищу урожайність в середньому по досліді отримано в 2021 році – 11,58 т/га, тоді як в 2022 році вона становила – 10,12 т/га, а в 2023 році – 11,01 т/га.

Найкращі показники урожайності встановлено на варіанті удобрення який передбачав внесення азотних добрив N_{40} перед сівбою у поєднанні із мікродобривом Вуксал Р Мах – 12,29 т/га, 10,78 та 11,76 т/га, відповідно у 2021, 2022 та 2023 рр., що на 1,68–2,21 т/га більше в порівнянні із контрольним варіантом (без удобрення).

Що стосується інших варіантів удобрення то зростання урожайності зерна гібриду кукурудзи СИ Зефір на них становила 0,68–2,12 т/га в порівнянні із контрольним варіантом.

Отже, поліпшення умов живлення рослин кукурудзи за рахунок внесення

азотних добрив та мікроелементів сприяє зростанню рівня на 0,68–2,21 т/га в порівнянні із контрольним варіантом (без добрив).

Висновки до розділу 4:

1. Внесення азотних добрив у поєднанні із мікродобривами (N₄₀ перед сівбою + Нутривант Плюс Кукурудза; N₄₀ перед сівбою + Вуксал Р Мах; N₄₀ перед сівбою + Розалік Zn, P, N, S), забезпечує у гібриду кукурудзи СИ Зефір зростання тривалості періоду «сходи–8 листків» та «8 листків–цвітіння волотей» на 1 добу, а тривалості періоду вегетації на 2 доби відносно контрольного варіанту (без внесення добрив) та варіанту де вносилося лише азотне добриво (N₄₀ перед сівбою).

2. Застосування азотних добрив (N₄₀ перед сівбою) у поєднанні із мікродобривом Вуксал Р Мах сприяє найкращій оптимізації рослин елементами живлення і відповідно формуванню найбільшої асиміляційної поверхні на усіх фазах розвитку гібриду СИ Зефір (8,27 тис. м²/га, 43,73 тис. м²/га, 41,43 та 37,45 тис. м²/га).

3. Система удобрення також впливала на значення фотосинтетичного потенціалу у гібриду кукурудзи СИ Зефір. Так, зокрема найвище значення фотосинтетичного потенціалу гібриду СИ Зефір у всі періоди вегетації отримано на варіанті із внесенням азотних добрив (N₄₀ перед сівбою) у поєднанні із мікродобривом Вуксал Р Мах – 0,695 млн м² діб/га, 1,277 та 2,121 млн м² діб/га, відповідно.

4. Найвищі показники чистої продуктивності фотосинтезу, в середньому за три роки досліджень, отримані на варіанті із внесенням азотних добрив (N₄₀ перед сівбою) у поєднанні із мікродобривом Вуксал Р Мах – 6,713 г/м² за добу, 10,864 та 6,323 г/м² за добу, відповідно у фазу 7–8 листків, цвітіння волотей та воскової стиглості зерна.

5. Встановлені найбільші показники висоти рослин, в середньому за три роки, гібриду СИ Зефір сформувалися на варіанті із внесенням азотних добрив перед сівбою у нормі 40 кг д. р. /га у поєднанні із внесенням мікродобрива

Вуксал Р Мах – 54,5 см у фазу 7–8 листків кукурудзи, 232,6 см у фазу цвітіння волотей, 237,3 см у фазу молочної стиглості зерна та 238,0 у фазу повної стиглості зерна, тоді як на контрольну варіанті висота рослин становила – 50,1 см, 224,0 см, 229,4 та 230,2 см, відповідно за фазами росту і розвитку.

6. Найбільш сприятливі умови живлення рослин гібриду кукурудзи СИ Зефір складаються на варіанті із внесенням азотних добрив (N_{40} перед сівбою) у поєднанні із мікродобривом Вуксал Р Мах, які забезпечують найвищі параметри структури врожаю, довжину качана – 18,3 см, діаметр качана – 5,0 см, масу зерна з качана – 178,2 г та маса 1000 зерен – 267,6 г, що на 0,3 см, 0,4 см, 30,9 г та 29,0 г більше в порівнянні із контрольним варіантом (без внесення добрив).

7. Найвище значення передзбиральної вологості зерна отримано на варіанті де вносилося азотне добриво N_{40} перед сівбою у поєднанні із мікродобривом Вуксал Р Мах – 23,4 %, тоді як на контрольному варіанті (без добрив) вона становила – 22,0 %. Що є негативним оскільки викликає необхідність додаткових затрат на досушування і доведення до базових кондицій такого зерна.

8. Поліпшення умов живлення рослин кукурудзи за рахунок внесення азотних добрив та мікроелементів сприяє зростанню рівня урожайності на 0,68–2,21 т/га в порівнянні із контрольним варіантом (без добрив).

Основні положення дисертації викладені в наукових працях [267–271].

РОЗДІЛ 5

ЯКІСНІ ПОКАЗНИКИ ЗЕРНА КУКУРУДЗИ ТА РОЗРАХУНКОВИЙ ВИХІД БІОЕТАНОЛУ

5.1 Формування показників якості зерна кукурудзи залежно від досліджуваних факторів

Формування якісних показників зерна кукурудзи дозволяє, за умови зростання рівня урожайності, частини зерна використовувати в якості сировини для виробництва біоетанолу без створення проблем для продовольчої безпеки країни.

Виробництву зерна в Україні приділяється велика увага, окрім того зерно має характеризуватися відповідними параметрами щодо напрямів його використання. Одним із основних показників для виробництва біоетанолу є вміст крохмалю у зерні, який впливає на вихід спирту. Оптимізація технології вирощування та окремих її елементів, таких як способи сівби та система удобрення дозволить не лише підвищити продуктивність а й поліпшить накопичення крохмалю у зерні за рахунок збільшення фотосинтетичної активності посіву та накопичення сухих речовин [3, 33, 43, 176].

Генетичні особливості кукурудзи за корегування відповідно до умов вирощування мають сприятливі значення біохімічного складу зерна для виробництва біоетанолу [43, 113].

Перспективність використання кукурудзи в якості сировини для виробництва біоетанолу обумовлюється високим вмістом вуглеводів (крохмалю) у зерні та виходом спирту, зокрема. Вміст крохмалю у зерні кукурудзи може становити 60–85 %, залежно від генетичних особливостей гібриду, агротехніки та ґрунтово-кліматичних умов вирощування [3, 43]. Вуглеводи у зерні кукурудзи представлені цукрами, крохмалем, клітковиною, геміцелюлозою та пентозанами [230].

Накопичення крохмалю в зерні кукурудзи має свої особливості, які

стосуються утворення глюкози та фруктози у процесі фотосинтетичної діяльності та подальшого перетворення на більш складні вуглеводи (крохмаль) у генеративних органах (зерні). Звичайно, що у процесі дозрівання зерна кукурудзи вміст крохмалю зростає [3, 58, 65].

Основним показником, який впливає на виробництво біоетанолу із зерна кукурудзи є вміст крохмалю відповідно чим він вищий тим вищий вихід спирту отримується. Характеристику досліджуваних гібридів кукурудзи за хімічним складом зерна залежно від способів сівби приведено в таблиці 5.1 та додатку Д1.

Таблиця 5.1

Хімічний склад зерна кукурудзи залежно від біологічних особливостей гібридів та способів сівби, % (середнє за 2021–2023 рр.)

Гібрид (А)	Спосіб сівби (В)	Вміст у зерні, %		
		крохмалю	сирого протеїну	жиру
СИ Талісман (ФАО 200)	70 см (контроль)	67,90	9,32	3,93
	20,3×76,2 см	68,00	9,25	4,02
	20,3×91,4 см	68,47	9,14	4,05
	20,3×96,5 см	68,27	9,15	4,04
СИ Фотон (ФАО 260)	70 см (контроль)	70,73	9,52	4,21
	20,3×76,2 см	71,00	9,47	4,22
	20,3×91,4 см	71,30	9,26	4,23
	20,3×96,5 см	71,23	9,38	4,21
НК Термо (ФАО 330)	70 см (контроль)	69,83	10,89	4,32
	20,3×76,2 см	70,00	10,84	4,41
	20,3×91,4 см	70,07	10,69	4,42
	20,3×96,5 см	70,47	10,56	4,35
СИ Зефір (ФАО 430)	70 см (контроль)	68,93	10,29	4,42
	20,3×76,2 см	69,13	10,03	4,30
	20,3×91,4 см	69,23	9,95	4,38
	20,3×96,5 см	69,43	9,62	4,46
НІР ₀₅ , %	Фактор А	0,19	0,35	0,15
	Фактор В	0,07	0,05	0,06
	Взаємодія АВ	0,69	0,49	0,12

Нами встановлено що інтенсивність накопичення крохмалю у зерні кукурудзи та його кількість істотно залежить від кліматичних умов року. Так, зокрема вміст крохмалю, в середньому в досліджуваних гібридів кукурудзи в 2021 році – 69,88 %, в 2022 році – 69,31 % та в 2023 році – 69,69 %. Зміна вмісту сирого протеїну також відбувалася в межах років досліджень. Найвищий вміст сирого протеїну відмічено в 2022 році – 10,15 %, тоді як в 2021 році він становив 9,67 % а в 2023 році – 9,69 %. Вміст жиру виявився найвищим у 2022 році – 4,42 %, а в 2021 та 2023 рр. він становив – 4,16 та 4,17 %, відповідно (див. додаток Д). Зменшення кількості крохмалю в 2022 році пов'язано із тим що цей рік був більш стресовим за характером розподілу вологозабезпечення в період вегетації кукурудзи тому вміст крохмалю зменшився, але зріс вміст сирого протеїну та жиру. На таку особливість хімічного складу зерна кукурудзи вказує цілий дослідників [3, 58, 230], тобто у хімічному складі зерна кукурудзи існує антагоністична залежність між вмістом крохмалю та білку, тобто якщо зростає вміст однієї речовини то вміст іншої зменшується.

В межах досліджуваних гібридів найвищий вміст крохмалю в зерні, в середньому за три роки досліджень, встановлено у середньораннього СИ Фотон – 71,07 % який є найбільш ефективний за нагромадженням крохмалю, тоді як в інших гібридів він становив НК Термо (ФАО 330) – 70,09 %, СИ Зефір (ФАО 430) – 69,18 % та СИ Талісман (ФАО 200) – 68,16 % (див. табл. 5.1).

Спосіб сівби також здійснював вплив на накопичення крохмалю в зерні кукурудзи досліджуваних гібридів. Зокрема вміст крохмалю, в середньому за три роки досліджень на контрольному варіанті (ширина міжрядь 70 см) склав 69,35 %, за схеми сівби 20,3×76,2 см – 69,53 %, 20,3×91,4 см – 69,77 % та 20,3×96,5 см – 69,85 %. Тобто найкращою для накопичення крохмалю у зерні була схема сівби 20,3×96,5 см, зростання вмісту крохмалю на даному варіанті становило 0,08–0,50% в порівнянні із іншими варіантами досліджу.

Крім того у ранньостиглого гібриду СИ Талісман та середньораннього СИ Фотон найвищий вміст крохмалю відмічено на варіанті із схемою посіву

20,3×91,4 см – 68,47 та 71,30 %, відповідно. А у середньостиглого НК Термо та середньопізнього СИ Зефір за схеми сівби 20,3×96,5 см – 70,47 та 69,43 %, відповідно. Це говорить про більшу вимогливість до просторового розміщення рослин на площі у гібридів із тривалим вегетаційним періодом.

Досліджувані гібриди кукурудзи також відрізнялися за кількістю сирого протеїну в зерні, в середньому за три роки досліджень вона становила СИ Талісман (ФАО 200) – 9,22 %, СИ Фотон (ФАО 260) – 9,41 %, НК Термо (ФАО 330) – 10,75 % та СИ Зефір (ФАО 430) – 9,97 %. Найвищий вміст сирого протеїну отримано на контрольну варіанті, який в середньому за три роки у досліджуваних гібридів склав 10,01 %, тоді як за схеми сівби 20,3×76,2 см він становив – 9,90 %, 20,3×91,4 см – 9,76 % та 20,3×96,5 см – 9,68 %. Тобто чітко підтверджується антагоністична залежність вмісту крохмалю та білку, яка досліджена іншими науковцями [3, 58, 230], зокрема на варіантах із збільшенням кількості крохмалю вміст білку знижується і навпаки.

Вміст жиру у зерні також змінювався залежно від біологічних особливостей гібриду, і в середньому за три роки він становив у СИ Талісман (ФАО 200) – 4,01 %, СИ Фотон (ФАО 260) – 4,22 %, НК Термо (ФАО 330) – 4,38 % та СИ Зефір (ФАО 430) – 4,39 %.

Спосіб сівби та площа живлення також впливали на накопичення жиру у зерні кукурудзи, зокрема найвищий вміст жиру отримано на варіантах із схемою сівби 20,3×91,4 см та 20,3×96,5 см – 4,27 %, тоді як на інших варіантах досліду він становив – контроль (ширина міжрядь 70 см) – 4,22 %, 20,3×76,2 см – 4,24 %.

Отже, прослідковується закономірність поліпшення площі живлення за рахунок способу сівби для досліджуваних гібридів яка сприяє зміні хімічного складу зерна, щодо накопичення крохмалю, сирого протеїну та жиру.

В той же час між вмістом крохмалю і жиру залежність має слабкий характер ($r = 0,45$) за коефіцієнту детермінації 0,20 і також невисокий взаємозв'язок був з вмістом сирого протеїну ($r = 0,20$, $R^2 = 0,04$) (рис. 5.1 і 5.2).

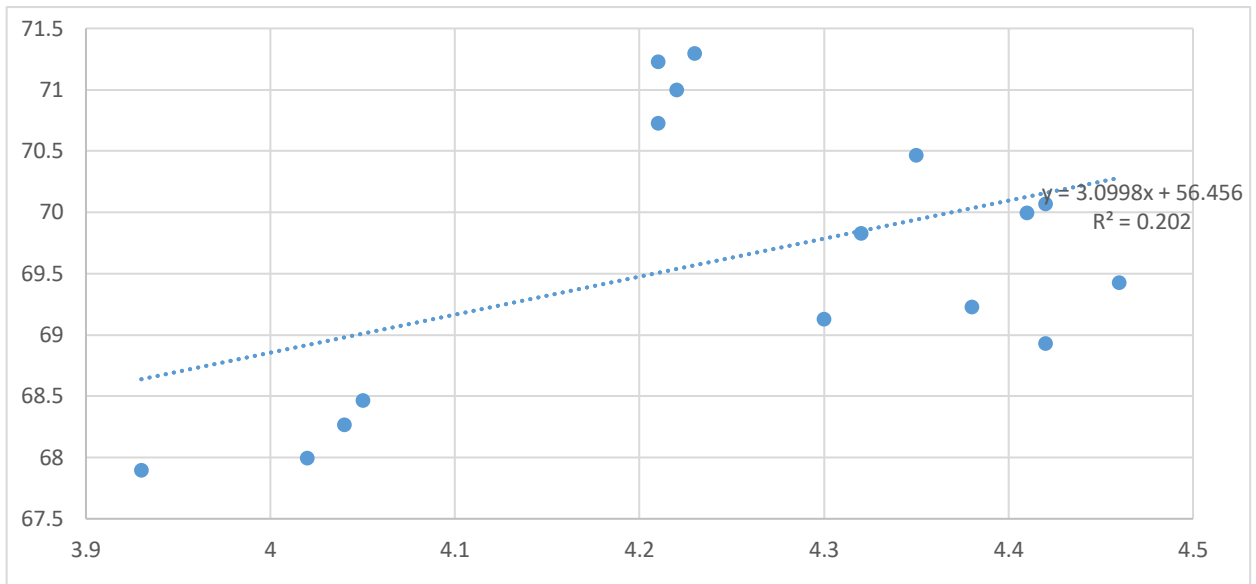


Рис. 5.1. Кореляційна залежність між вмістом крохмалю і жиру залежно від способу сівби

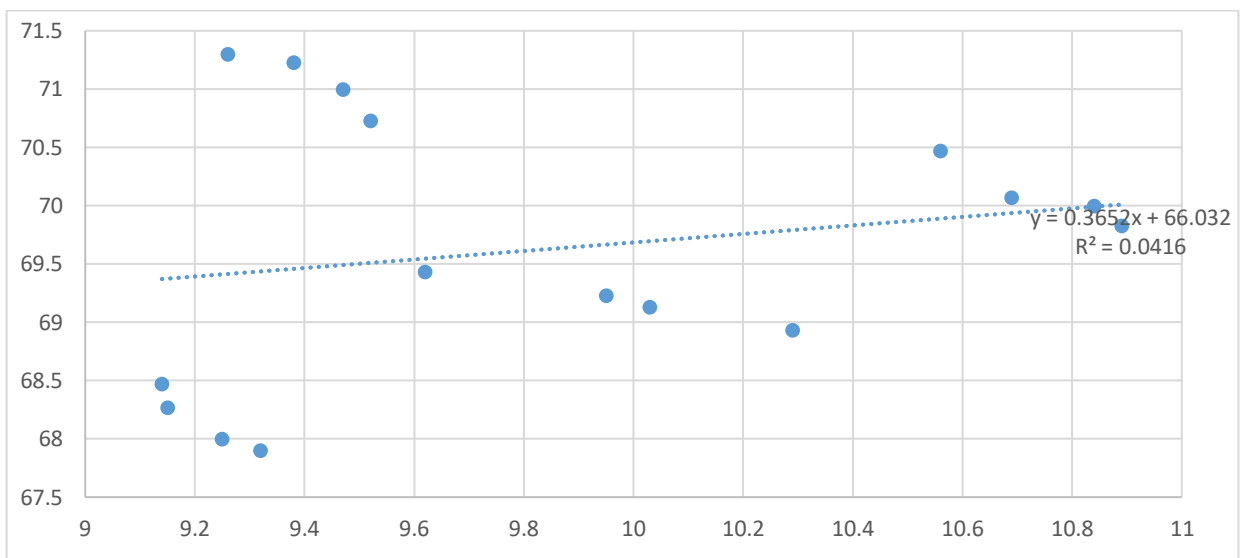


Рис. 5.2. Кореляційна залежність між вмістом крохмалю і сирого протеїну залежно від способу сівби

Оптимізація забезпеченості рослин кукурудзи елементами живлення за рахунок внесення азотних добрив та мікроелементів також впливає на характеристику хімічного складу зерна (табл. 5.2 та додаток Д1).

Якісні показники зерна гібриду кукурудзи СИ Зефір змінювалися залежно від кліматичних умов року, і в 2021 році вміст крохмалю, в середньому по всіх варіантах дослідів, склав 69,05 %, білку – 9,91 % та жиру 4,10 %, в 2022 році – 68,30 %, 10,23 та 4,29 %, а в 2023 році – 68,87 %, 9,84 та 4,08 %,

відповідно крохмалю, білку та жиру (див. додаток Д2).

Таблиця 5.2

Хімічний склад зерна гібриду кукурудзи СИ Зефір залежно від системи удобрення, % (середнє за 2021–2023 рр.)

Гібрид	Система удобрення	Вміст у зерні, %		
		крохмалю	сирого протеїну	жиру
СИ Зефір (ФАО 430)	Без внесення добрив (контроль)	69,01	9,56	4,44
	N ₄₀ перед сівбою	68,90	9,89	4,19
	N ₄₀ перед сівбою + Нутривант Плюс Кукурудза	68,84	10,06	4,06
	N ₄₀ перед сівбою + Вуксал Р Мах	68,25	10,27	4,03
	N ₄₀ перед сівбою + Розалік Zn, P, N, S	68,69	10,18	4,07
НІР ₀₅		0,41	0,15	0,15

Із даних таблиці 5.2 видно що найвищий вміст крохмалю у зерні гібриду кукурудзи СИ Зефір отримано на контрольному варіанті (без внесення добрив) – 69,01 %. Застосування мікродобрив у поєднанні із азотними добривами не збільшувало вміст крохмалю. Так зокрема на варіанті із внесенням N₄₀ перед сівбою вміст крохмалю, в середньому за три роки досліджень склав 68,90 %, на варіанті внесення N₄₀ перед сівбою + Нутривант Плюс Кукурудза – 68,84 %, N₄₀ перед сівбою + Вуксал Р Мах – 68,25 % та N₄₀ перед сівбою + Розалік Zn, P, N, S – 68,69 %. Це пояснюється тим, що поліпшення азотного живлення рослин не сприяє підвищенню накопичення в зерні крохмалю, а в більшій мірі поліпшує вміст білку.

Вміст білку на контрольному варіанті (без добрив), в середньому за три роки досліджень, виявився найменшим і становив 9,56 %, на варіанті із внесенням азотних добрив N₄₀ перед сівбою він збільшився на 0,33 %, N₄₀ перед сівбою + Нутривант Плюс Кукурудза на 0,5 %, N₄₀ перед сівбою + Вуксал Р Мах на 0,71 % та на варіанті удобрення N₄₀ перед сівбою + Розалік Zn, P, N, S –

0,62 % в порівнянні із контрольним варіантом. Вміст жиру найвищим бу на контрольному варіанті (без добрив) – 4,44 %, застосування азотних добрив та мікроелементів не сприяло зростанню вмісту жиру в зерні.

На відмінну від першого дослідження в другому було виявлено середній рівень взаємозв'язку між вмістом крохмалю і жиру ($r = 0,69$) за коефіцієнту детермінації 0,48 та високий обернено пропорційний з вмістом сирого протеїну ($r = -0,82$) (рис. 5.3–5.4).

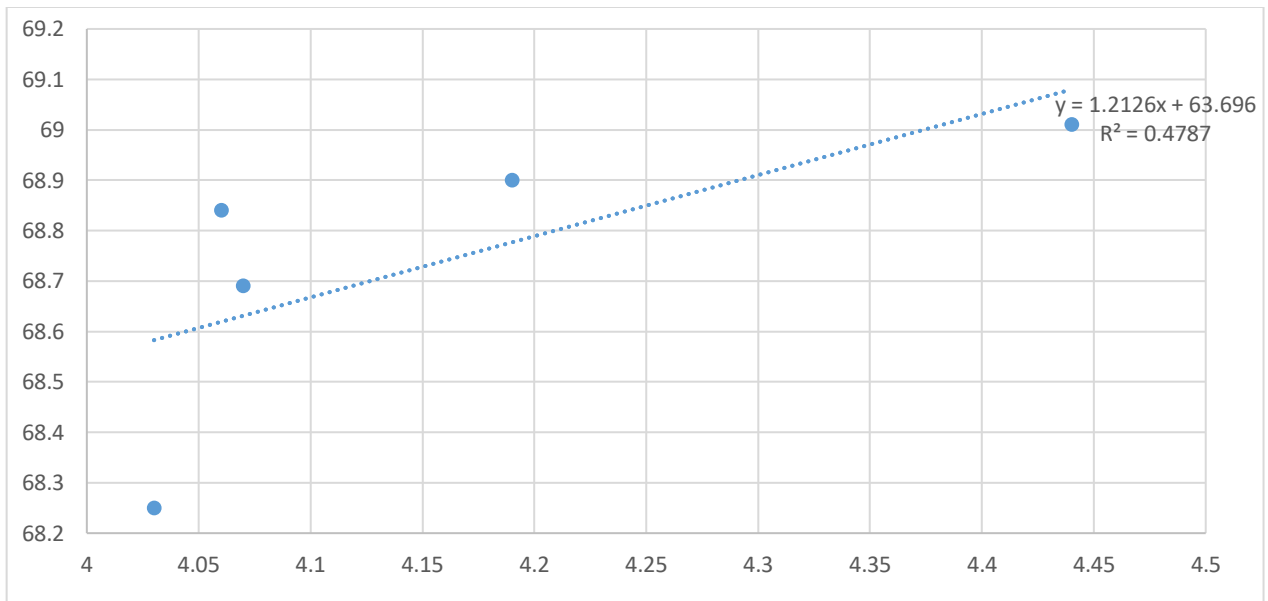


Рис. 5.3. Кореляційна залежність між вмістом крохмалю і жиру залежно від системи удобрення

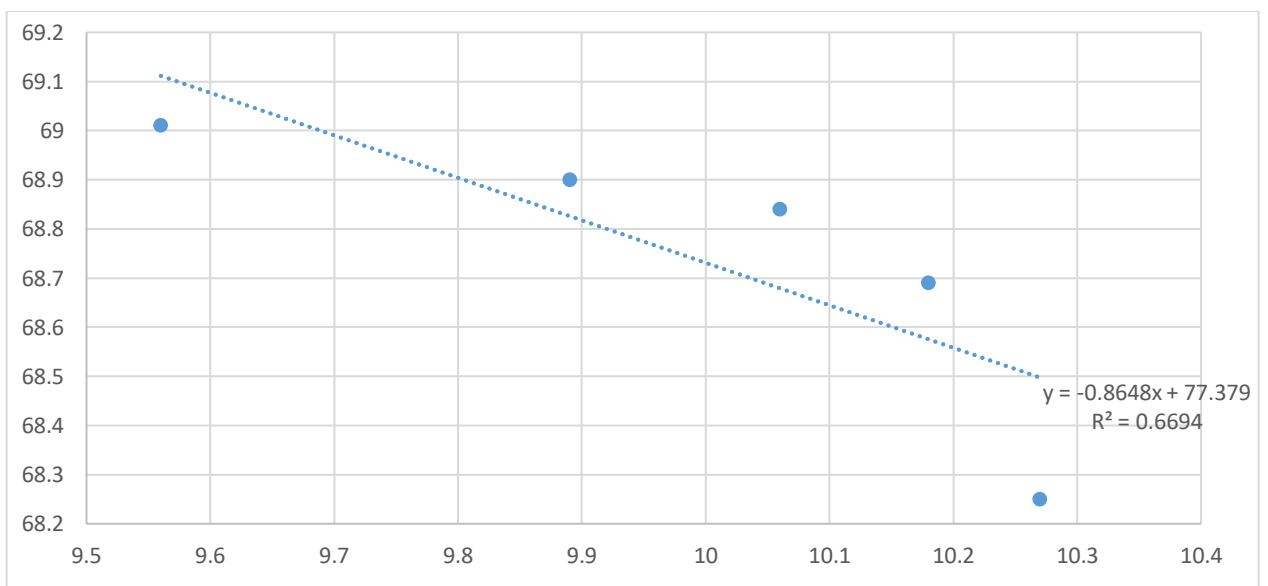


Рис. 5.4. Кореляційна залежність між вмістом крохмалю і сирого протеїну залежно від системи удобрення

Отже, застосування азотних добрив та мікроелементів істотно впливає на хімічний склад зерна, за якого вміст крохмалю та жиру знижується на 0,20–0,85 % та 0,25–0,41 %, а вміст білку зростає на 0,33–0,71% в порівнянні із контрольним варіантом (без добрив).

5.2. Розрахунковий вихід біоетанолу з зерна гібридів кукурудзи під впливом досліджуваних факторів

Вміст крохмалю у зерні визначає вихід біоетанолу та істотно залежить від групи стиглості, гідротермічних умов року, підвиду та особливостей агротехніки вирощування. На думку ряду вчених [3, 33, 272] ранньостиглі гібриди в Лісостеповій зоні України мають не високу урожайність зерна і вихід крохмалю, хоча в деяких із них вміст крохмалю в зерні високий. Вищий вміст крохмалю у середньоранніх та середньостиглих гібридів, пояснюється тим, що вони представлені зубовидним підвидом, в зерні якого міститься найбільше крохмалю.

Вихід крохмалю із одиниці площі залежно від біологічних особливостей гібриду та способів сівби приведено в таблиці 5.3.

В розрізі років досліджень найбільш сприятливим для виходу крохмалю виявився 2021 рік в який середній вихід крохмалю в досліді склав 6,931 т/га, тоді як в 2022 році він становив – 6,012 т/га, а в 2023 році – 6,616 т/га.

Біологічні особливості досліджуваних гібридів також вплинули на показник виходу крохмалю із одиниці площі посіву. Найвищий вихід крохмалю в середньому за три роки досліджень виявився у групі гібридів із найбільш тривалим вегетаційним періодом НК Термо (ФАО 330) – 7,043 т/га та СИ Зефір (ФАО 430) – 7,379 т/га, тоді як в скоростиглих гібридів він становив СИ Талісман (ФАО 200) – 5,353 т/га та СИ Фотон (ФАО 260) – 6,298 т/га, що повністю підтверджує дані наукової літератури [33, 65, 112, 218, 228].

Вихід крохмалю в досліджуваних гібридів кукурудзи коливався в межах 4,415–8,113 т/га. Способи сівби також впливали на вихід крохмалю із одиниці

площі. Найвищий вихід крохмалю 5,813–7,657 т/га отримано на варіанті із схемою сівби 20,3×91,4 см для усіх досліджуваних гібридів. При цьому зростання вмісту крохмалю на даному варіанті в порівнянні із іншими способами сівби становило для гібриду СИ Талісман (ФАО 200) – 0,063–1,199 т/га, СИ Фотон (ФАО 260) – 0,058–1,001 т/га, НК Термо (ФАО 330) – 0,065–1,152 т/га та СИ Зефір (ФАО 430) – 0,002–0,838 т/га.

Таблиця 5.3

Вихід крохмалю залежно від біологічних особливостей гібридів та способів сівби, т/га (середнє за 2021–2023 рр.)

Гібрид (А)	Спосіб сівби (В)	Вихід крохмалю			
		2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021–2023 рр.
СИ Талісман (ФАО 200)	70 см (контроль)	5,054	4,415	4,760	4,739
	20,3×76,2 см	5,444	4,793	5,242	5,161
	20,3×91,4 см	6,025	5,614	5,800	5,813
	20,3×96,5 см	5,857	5,508	5,737	5,700
СИ Фотон (ФАО 260)	70 см (контроль)	6,113	5,428	6,032	5,857
	20,3×76,2 см	6,479	5,827	6,333	6,213
	20,3×91,4 см	7,114	6,248	6,490	6,617
	20,3×96,5 см	6,904	6,190	6,419	6,504
НК Термо (ФАО 330)	70 см (контроль)	6,961	5,984	6,724	6,557
	20,3×76,2 см	7,476	6,303	7,091	6,951
	20,3×91,4 см	8,113	6,596	7,431	7,378
	20,3×96,5 см	8,036	6,531	7,300	7,286
СИ Зефір (ФАО 430)	70 см (контроль)	7,377	6,186	7,179	6,914
	20,3×76,2 см	7,752	6,554	7,623	7,307
	20,3×91,4 см	8,104	7,024	7,849	7,657
	20,3×96,5 см	8,085	6,993	7,847	7,638
НІР ₀₅ , т/га	Фактор А	0,20	0,17	0,21	0,52
	Фактор В	0,10	0,13	0,09	0,09
	Взаємодія АВ	0,18	0,16	0,17	0,45

На вихід крохмалю впливала також забезпеченість рослин елементами живлення в процесі росту і розвитку (табл. 5.4). Із даних таблиці 5.4 видно, що найкращі умови для росту і розвитку рослин кукурудзи створюються за

внесення азотних добрив (N_{40} перед сівбою) у поєднанні із мікродобривом Вуксал Р Мах, про що свідчить найвища урожайність та вихід крохмалю із одиниці площі у 2021 році 8,392 т/га, у 2022 році – 7,353 т/га та в 2023 році 8,026 т/га. При цьому вихід крохмалю на контрольному варіанті (без застосування добрив) становив – 6,998 т/га, 6,222 та 6,662 т/га.

Таблиця 5.4

**Вихід крохмалю у гібриду кукурудзи СИ Зефір залежно від системи
удобрення, т/га (середнє за 2021–2023 рр.)**

Гібрид	Система удобрення	Вихід крохмалю			
		2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021–2023 рр.
СИ Зефір (ФАО 430)	Без внесення добрив (контроль)	6,998	6,222	6,662	6,625
	N_{40} перед сівбою	7,914	6,684	7,312	7,303
	N_{40} перед сівбою + Нутривант Плюс Кукурудза	8,371	7,178	7,823	7,793
	N_{40} перед сівбою + Вуксал Р Мах	8,392	7,353	8,026	7,923
	N_{40} перед сівбою + Розалік Zn, P, N, S	8,303	7,133	8,064	7,831
НІР ₀₅ , т/га		0,22	0,23	0,30	0,22

Отже, застосування азотних добрив та мікроелементів забезпечує збільшення виходу крохмалю із одиниці площі у досліджуваного гібриду кукурудзи СИ Зефір на 0,916–1,394 т/га у 2021 році, 0,462–1,131 т/га в 2022 році та 0,650–1,364 т/га порівняно із контрольним варіантом (без застосування добрив).

Дослідженнями встановлено залежність виходу біоетанолу від біологічних особливостей гібридів та елементів технології (способи сівби та система удобрення) (табл. 5.5).

Вихід біоетанолу з сировини розраховували як вихід етанолу, за рівнянням спиртного бродіння: $C_6H_{12}O_6 = 2C_2H_5OH + 2CO_2$. За відносної густоти

етанолу $d_{20}^4=0,78927$ його теоретичний вихід становить 64,79 л [24, 33, 248]. Із 100 кг гексоз утворюється 51,14 кг безводного етанолу і 48,86 кг діоксину вуглецю.

Таблиця 5.5

Розрахунковий вихід біоетанолу залежно від біологічних особливостей гібридів та способів сівби, тис. л/га (середнє за 2021–2023 рр.)

Гібрид (А)	Спосіб сівби (В)	Вихід біоетанолу			
		2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021–2023 рр.
СИ Талісман (ФАО 200)	70 см (контроль)	3,275	2,860	3,084	3,073
	20,3×76,2 см	3,527	3,106	3,396	3,343
	20,3×91,4 см	3,904	3,637	3,758	3,766
	20,3×96,5 см	3,795	3,569	3,717	3,693
СИ Фотон (ФАО 260)	70 см (контроль)	3,961	3,517	3,908	3,795
	20,3×76,2 см	4,198	3,775	4,103	4,025
	20,3×91,4 см	4,609	4,048	4,205	4,287
	20,3×96,5 см	4,473	4,010	4,159	4,214
НК Термо (ФАО 330)	70 см (контроль)	4,510	3,877	4,357	4,248
	20,3×76,2 см	4,844	4,084	4,594	4,507
	20,3×91,4 см	5,256	4,274	4,814	4,781
	20,3×96,5 см	5,206	4,231	4,730	4,723
СИ Зефір (ФАО 430)	70 см (контроль)	4,779	4,008	4,652	4,480
	20,3×76,2 см	5,023	4,246	4,939	4,736
	20,3×91,4 см	5,250	4,551	5,085	4,962
	20,3×96,5 см	5,238	4,531	5,084	4,951
НІР ₀₅ , тис л/га	Фактор А	0,131	0,111	0,142	0,338
	Фактор В	0,067	0,090	0,062	0,061
	Взаємодія АВ	0,121	0,105	0,116	0,296

Найвищий вихід біоетанолу відмічений у 2021 році – 4,491 тис. л/га, тоді як в 2022 році він становив 3,895 тис. л/га, а в 2023 році – 4,287 тис. л/га (див табл. 5.5).

Біологічні особливості гібридів також істотно впливали на орієнтовний вихід біоетанолу. Найвищий вихід біоетанолу, в середньому за три роки

досліджень, отримано у гібридів із більш тривалим вегетаційним періодом СИ Зефір (ФАО 430) – 4,782 тис. л/га та НК Термо (ФАО 330) – 4,565 тис. л/га, тоді як в ранньостиглого гібриду СИ Талісман він становив – 3,469 тис. л/га, а в середньораннього СИ Фотон – 4,080 тис. л/га. Зростання виходу біоетанолу в гібридів із тривалим вегетаційним періодом в порівнянні із скоростиглими формами становило 0,485–1,314 тис. л/га.

Відмічено, що застосування різних способів сівби може впливати на вихід біоетанолу із одиниці площі. Найкращі показники виходу біоетанолу у досліджуваних гібридів, в середньому за три роки досліджень, отримані на варіанті із схемою сівби 20,3×91,4 см – 4,449 тис. л/га. За застосування широкорядного способу сівби (70 см) вихід біоетанолу склав 3,899 тис. л/га, за схеми сівби 20,3×76,2 см – 4,153 тис. л/га та за схеми 20,3×96,5 см – 4,395 тис. л/га.

Вихід біоетанолу на 46,8 % залежить від гібридного складу, на 37,2 % від способу сівби. Взаємозв'язок цих факторів становить 8,5 % (рис. 5.5).

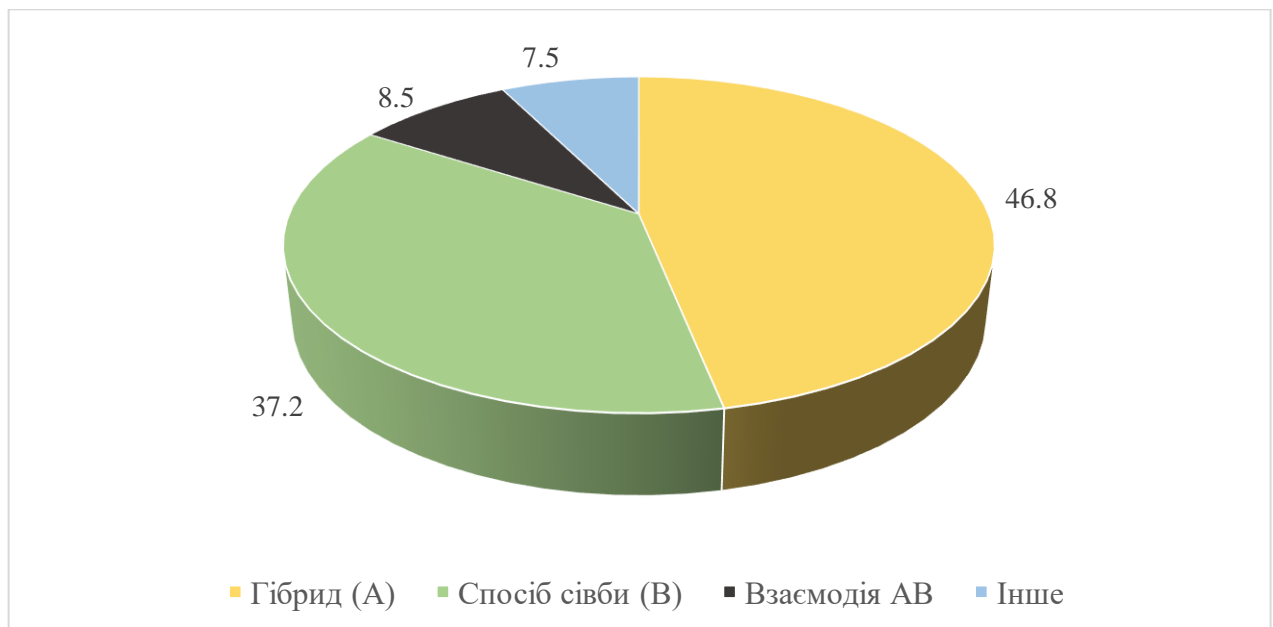


Рис. 5.5. Частка впливу факторів на вихід біоетанолу з зерна гібридів кукурудзи за різних способів сівби

Отже, оптимізація площі живлення однієї рослини за рахунок зміни схеми розміщення рослин в рядку та міжрядді дозволяє збільшувати вихід біоетанолу у досліджуваних гібридів кукурудзи різних груп стиглості на 0,254–

0,550 тис. л/га, в порівнянні із контрольним варіантом (70 см).

Внесення добрив поліпшує архітектоніку рослин кукурудзи тим самим забезпечуючи можливість кращої фотосинтетичної діяльності рослин та утворення органічної речовини відповідно і може впливати на накопичення в зерні крохмалю та відповідно і вихід біоетанолу (табл. 5.6).

Із даних таблиці 5.6 видно що вихід біоетанолу із зерна кукурудзи залежав від гідротермічних умов року досліджень і найбільшим він виявився за 2021 рік – 5,180 тис. л/га, тоді як в 2022 році він становив – 4,480 тис. л/га, а в 2023 році – 4,909 тис. л/га.

Таблиця 5.6

Розрахунковий вихід біоетанолу у гібриду кукурудзи СИ Зефір залежно від системи удобрення, тис. л/га (середнє за 2021–2023 рр.)

Гібрид	Система удобрення	Вихід біоетанолу			
		2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021–2023 рр.
СИ Зефір (ФАО 430)	Без внесення добрив (контроль)	4,534	4,031	4,316	4,294
	N ₄₀ перед сівбою	5,128	4,330	4,737	4,732
	N ₄₀ перед сівбою + Нутривант Плюс Кукурудза	5,423	4,651	5,069	5,048
	N ₄₀ перед сівбою + Вуксал Р Мах	5,437	4,764	5,200	5,134
	N ₄₀ перед сівбою + Розалік Zn, P, N, S	5,379	4,622	5,225	5,075
НІР ₀₅ , тис. л/га		0,147	0,155	0,195	0,148

Оптимізація живлення рослин за рахунок застосування азотних добрив та мікроелементів не лише сприяла підвищенню урожайності та виходу крохмалю із одиниці площі, а й забезпечила збільшення виходу біоетанолу із

гектара. Найвищий вихід біоетанолу, в середньому за три роки досліджень, отримано на варіанті із застосування азотних добрив (N_{40} перед сівбою) у поєднанні із мікродобривом Вуксал Р Мах – 5,134 тис. л/га, що на 0,840 тис. л/га більше в порівнянні із контрольним варіантом (без застосування добрив).

Зростання виходу біоетанолу на інших варіантах удобрення становило 0,438–0,781 тис. л/га відносно контрольного варіанту без добрив.

5.3. Взаємозв'язок виходу біоетанолу з комплексом господарсько-цінних ознак кукурудзи

В питанні залежності вмісту крохмалю, урожайності та виходу біоетанолу від інших господарсько-цінних ознак у гібридів кукурудзи актуальним є врахування та покращення побічних ознак, що дозволить підвищити виробництво біоетанолу із одиниці площі посіву зернової кукурудзи (табл. 5.7, додаток Ж1).

Таблиця 5.7

Кореляційна залежність між виходом біоетанолу з господарсько-цінними ознаками кукурудзи залежно від способу сівби (середнє за 2021–2023 рр.)

Показники	Коефіцієнт кореляції (r), $\pm Sr$
Площа листової поверхні у фазу цвітіння, тис. $m^2/га$	0,94 \pm 0,14
Фотосинтетичний потенціал у фазу воскової стиглості зерна, млн m^2 діб/га	0,93 \pm 0,18
Чиста продуктивність фотосинтезу у фазу воскової стиглості зерна, г/ m^2 за добу	0,94 \pm 0,17
Маса зерна з качана, г	0,99 \pm 0,23
Маса 1000 зерен, г	-0,94 \pm 0,15
Урожайність зерна, т/га	0,99 \pm 0,23
Вміст жиру, %	0,93 \pm 0,20
Вміст сирого протеїну, %	0,60 \pm 0,21
Вміст крохмалю, %	0,41 \pm 0,14

В досліді 1 нами встановлено, що вихід біоетанолу має високу залежність від площі листової поверхні у фазу цвітіння ($r = 0,94$), фотосинтетичного

потенціалу у фазу воскової стиглості зерна ($r = 0,93$), чистої продуктивності фотосинтезу в фазу воскової стиглості зерна ($r = 0,94$), маси зерна з качана ($r = 0,99$), урожайності зерна ($r = 0,99$), вмісту жиру ($r = 0,93$); середню з вмістом сирого протеїну ($r = 0,60$) і крохмалю ($r = 0,41$) та обернено пропорційну з масою 1000 зерен ($r = -0,94$).

Подібні кореляційні залежності отримані і у досліді 2 (табл. 5.8).

Таблиця 5.8

Кореляційна залежність між виходом біоетанолу з господарсько-цінними ознаками кукурудзи залежно від системи удобрення кукурудзи (середнє за 2021–2023 рр.)

Показники	Коефіцієнт кореляції (r), $\pm Sr$
Площа листової поверхні у фазу цвітіння, тис. м ² /га	0,99 \pm 0,11
Фотосинтетичний потенціал у фазу воскової стиглості зерна, млн м ² діб/га	0,99 \pm 0,13
Чиста продуктивність фотосинтезу у фазу воскової стиглості зерна, г/м ² за добу	0,87 \pm 0,15
Маса зерна з качана, г	0,99 \pm 0,20
Маса 1000 зерен, г	-0,78 \pm 0,13
Урожайність зерна, т/га	0,99 \pm 0,23
Вміст жиру, %	0,95 \pm 0,22
Вміст сирого протеїну, %	0,68 \pm 0,24
Вміст крохмалю, %	0,63 \pm 0,17

Так, високий рівень взаємозв'язку отримано між виходом біоетанолу і площею листової поверхні у фазу цвітіння ($r = 0,99$), фотосинтетичним потенціалом у фазу воскової стиглості зерна ($r = 0,99$), чистою продуктивністю фотосинтезу в фазу воскової стиглості зерна ($r = 0,87$), масою зерна з качана ($r = 0,99$), урожайністю зерна ($r = 0,99$), вмістом жиру ($r = 0,95$); середній з вмістом сирого протеїну ($r = 0,68$) і крохмалю ($r = 0,63$) та обернено пропорційний з масою 1000 зерен ($r = -0,78$).

Тому врахування даних ознак дозволить правильно підібрати гібриди із високим вмістом крохмалю та урожайністю придатних для виробництва біоетанолу. Отримані результати вказують на різну придатність досліджуваних гібридів кукурудзи різних груп стиглості для виробництва біоетанолу.

Висновки до розділу 5:

1. Інтенсивність накопичення крохмалю у зерні кукурудзи та його кількість істотно залежить від кліматичних умов року. Найвищий вміст сирого протеїну відмічено в 2022 році – 10,15 %, тоді як в 2021 році він становив 9,67 % а в 2023 році – 9,69 %.

2. В межах досліджуваних гібридів найвищий вміст крохмалю в зерні, в середньому за три роки досліджень, встановлена у середньораннього СИ Фотон – 71,07 % який є найбільш ефективний за нагромадженням крохмалю, тоді як в інших гібридів він становив НК Термо (ФАО 330) – 70,09 %, СИ Зефір (ФАО 430) – 69,18 % та СИ Талісман (ФАО 200) – 68,16 %.

3. Спосіб сівби також здійснював вплив на накопичення крохмалю в зерні кукурудзи досліджуваних гібридів. Найкращою для накопичення крохмалю у зерні була схема сівби 20,3×96,5 см, зростання вмісту крохмалю на даному варіанті становило 0,08–0,50% в порівнянні із іншими варіантами досліджу.

4. Найвищий вміст сирого протеїну отримано на контрольну варіанті, який в середньому за три роки у досліджуваних гібридів склав 10,01 %, тоді як за схеми сівби 20,3×76,2 см він становив – 9,90 %, 20,3×91,4 см – 9,76 % та 20,3×96,5 см – 9,68 %.

5. Вміст жиру у зерні також змінювався залежно від біологічних особливостей гібриду, і в середньому за три роки він становив у СИ Талісман (ФАО 200) – 4,01 %, СИ Фотон (ФАО 260) – 4,22 %, НК Термо (ФАО 330) – 4,38 % та СИ Зефір (ФАО 430) – 4,39 %.

6. Спосіб сівби та площа живлення впливали на накопичення жиру у зерні кукурудзи, зокрема найвищий вміст жиру отримано на варіантах із

схемою сівби 20,3×91,4 см та 20,3×96,5 см – 4,27 %, тоді як на інших варіантах досліджу вів становив – контроль (ширина міжрядь 70 см) – 4,22 %, 20,3×76,2 см – 4,24 %.

7. Застосування азотних добрив та мікроелементів істотно впливає на хімічний склад зерна, за якого вміст крохмалю та жиру знижується на 0,20–0,85 % та 0,25–0,41 %, а вміст білку зростає на 0,33–0,71% в порівнянні із контрольним варіантом (без добрив).

8. Найвищий вихід крохмалю в середньому за три роки досліджень виявився у групі гібридів із найбільш тривалим вегетаційним періодом НК Термо (ФАО 330) – 7,043 т/га та СИ Зефір (ФАО 430) – 7,379 т/га, тоді як в скоростиглих гібридів вів становив СИ Талісман (ФАО 200) – 5,353 т/га та СИ Фотон (ФАО 260) – 6,298 т/га.

9. Способи сівби впливали на вихід крохмалю із одиниці площі. Найвищий вихід крохмалю 5,813–7,657 т/га отримано на варіанті із схемою сівби 20,3×91,4 см для усіх досліджуваних гібридів. При цьому зростання вмісту крохмалю на даному варіанті в порівнянні із іншими способами сівби становило для гібриду СИ Талісман (ФАО 200) – 0,063–1,199 т/га, СИ Фотон (ФАО 260) – 0,058–1,001 т/га, НК Термо (ФАО 330) – 0,065–1,152 т/га та СИ Зефір (ФАО 430) – 0,002–0,838 т/га.

10. Найкращі умови для росту і розвитку рослин кукурудзи створюються за внесення азотних добрив (N₄₀ перед сівбою) у поєднанні із мікродобривом Вуксал Р Мах, про що свідчить найвища урожайність та вихід крохмалю із одиниці площі у 2021 році 8,392 т/га, у 2022 році – 7,353 т/га та в 2023 році 8,026 т/га. При цьому вихід крохмалю на контрольному варіанті (без застосування добрив) становив – 6,998 т/га, 6,222 та 6,662 т/га.

11. Найвищий вихід біоетанолу відмічений у 2021 році – 4,491 тис. л/га, тоді як в 2022 році вів становив 3,895 тис. л/га, а в 2023 році – 4,287 тис. л/га.

12. Біологічні особливості гібридів також істотно впливали на орієнтовний вихід біоетанолу. Зростання виходу біоетанолу в гібридів із тривалим вегетаційним періодом в порівнянні із скоростиглими формами

становило 0,485–1,314 тис. л/га.

13. Найкращі показники виходу біоетанолу у досліджуваних гібридів, в середньому за три роки досліджень, отримані на варіанті із схемою сівби 20,3×91,4 см – 4,449 тис. л/га. Оптимізація площі живлення однієї рослини за рахунок зміни схеми розміщення рослин в рядку та міжрядді дозволяє збільшувати вихід біоетанолу у досліджуваних гібридів кукурудзи різних груп стиглості на 0,254–0,550 тис. л/га, в порівнянні із контрольним варіантом (70 см).

14. Оптимізація живлення рослин за рахунок застосування азотних добрив та мікроелементів не лише сприяла підвищенню урожайності та виходу крохмалю із одиниці площі, а й забезпечила збільшення виходу біоетанолу із гектара. Найвищий вихід біоетанолу, в середньому за три роки досліджень, отримано на варіанті із застосування азотних добрив (N₄₀ перед сівбою) у поєднанні із мікродобривом Вуксал Р Мах – 5,134 тис. л/га, що на 0,840 тис. л/га більше в порівнянні із контрольним варіантом (без застосування добрив).

15. Вміст крохмалю у зерні залежить від чистої продуктивності фотосинтезу в фазу воскової стиглості зерна ($r = 0,552$), маси зерна з качана – ($r = 0,305$), вмісту жиру ($r = 0,449$) та урожайності ($r = 0,305$). Тому врахування даних ознак дозволить правильно підібрати гібриди із високим вмістом крохмалю та урожайністю придатних для виробництва біоетанолу.

Основні положення дисертації викладені в наукових працях [261, 273–276].

РОЗДІЛ 6

ЕКОНОМІЧНА ТА ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ

6.1 Економічна ефективність вирощування кукурудзи

Створення оптимальних умов живлення за рахунок оптимізації способу сівби а застосування добрив для розвитку рослин кукурудзи є однією із основ поєднання високої продуктивності та ресурсозбереження. Саме удосконалення даних елементів технології дозволить суттєво зменшити розрив між потенційною та виробничою урожайністю із можливістю переробки частини врожаю основної продукції на біоетанол.

Політична та економічна ситуація в Україні останнім часом викликала суттєве загострення проблеми посилення економії енерговитрат в усіх без винятку галузях економіки, в тому числі і в сільському господарстві [277].

Рівень урожайності як показник ефективності будь-якого агрозаходу не дає повну оцінку оскільки він не враховує величину затрат на отримання даної урожайності, через це варто визначати не лише агротехнічну але і економічну ефективність [278–281].

Особливого значення економічна оцінка набуває в умовах ринкової економіки, особливо у зв'язку із військовою агресією росії проти України, зростання цін на паливо-мастильні матеріали, засоби захисту рослин, добрива, енергетичні ресурси, які в кінцевому результаті відобразилися на зростанні витрат на вирощування кукурудзи і зменшенні прибутку від її реалізації [3, 4, 281].

В основу економічної ефективності вирощування зерна кукурудзи входять наступні показники: урожайність, собівартість продукції, вартість валової продукції, реалізаційна ціна 1 тони зерна, умовно чистий прибуток на 1 га площі посіву та рівень рентабельності. Підвищення економічної ефективності виробництва зерна в подальшому забезпечить розвиток

зернового господарства України [282–283].

Підвищення ефективності виробництва будь-якої галузі народного господарства, в тому числі сільськогосподарського виробництва є необхідною умовою діяльності підприємства та отримання максимальної прибутковості. Виробництво зерна кукурудзи в сільськогосподарському виробництві має пріоритетне значення, через значну площу посіву даної культури та високу продуктивність і відносно не високу затратність самого виробництва [284].

Посилення ресурсо- та енергонасиченості технологій на інтенсивній основі передбачає техніко-технологічний розвиток аграрного сектору України. У рослинництві перш за все – це збільшення використання високоякісних матеріально-технічних та грошових ресурсів в розрахунку на одиницю посівної площі [3, 4, 277].

Генетичний потенціал сучасних гібридів кукурудзи є досить високим і за умови оптимізації технології вирощування та застосування засобів інтенсифікації за високої економічної ефективності дозволить не лише забезпечити продовольчу безпеку України але і дозволить частину зерна використовувати в якості сировини для виробництва біоетанолу [3, 42, 285].

Проведені нами розрахунки економічної ефективності вирощування гібридів кукурудзи різних груп за різних способів сівби та системи удобрення дозволяють обґрунтувати найбільш раціональне поєднання даних агрозаходів в умовах Правобережного Лісостепу України. В процесі розрахунку показників економічної ефективності використовувалися технологічні карти вирощування кукурудзи із приведеними виробничими затратами на вирощування. Ціни на зерно кукурудзи взяті на основі біржових даних українського ринку і станом на 29.12.2023 року становили 5600 грн/т.

Результати оцінки вирощування кукурудзи за період 2021–2023 рр. свідчать про те, що група стиглості гібриду, спосіб сівби та забезпечення рослин елементами живлення істотно впливають на показники економічної ефективності вирощування культури (табл. 6.1).

Таблиця 6.1

**Економічна ефективність вирощування гібридів кукурудзи
залежно від способів сівби (середнє за 2021–2023 рр.)**

Гібрид (Фактор А)	Спосіб сівби (Фактор В)	Урожайність, т/га	Вартість валової продукції, тис.	Собівартість продукції, грн/т	Витрати тис. грн./га	Умовно чистий прибуток, тис. грн. /га	Рентабельність, %
СИ Талісман (ФАО 200)	70 см (контроль)	6,98	39088	3265,3	22792,0	16296,0	71,5
	20,3×76,2 см	7,59	42504	3185,3	24176,5	18327,5	75,8
	20,3×91,4 см	8,49	47544	2945,9	25010,3	22533,7	90,1
	20,3×96,5 см	8,35	46760	2989,4	24961,6	21798,4	87,3
СИ Фотон (ФАО 260)	70 см (контроль)	8,28	46368	2999,1	24832,2	21535,8	86,7
	20,3×76,2 см	8,75	49000	2955,9	25863,8	23136,2	89,5
	20,3×91,4 см	9,28	51968	2808,8	26065,7	25902,3	99,4
	20,3×96,5 см	9,13	51128	2849,2	26013,3	25114,7	96,5
НК Термо (ФАО 330)	70 см (контроль)	9,39	52584	2805,7	26345,6	26238,4	99,6
	20,3×76,2 см	9,93	55608	2710,1	26911,4	28696,6	106,6
	20,3×91,4 см	10,53	58968	2629,9	27692,8	31275,2	112,9
	20,3×96,5 см	10,34	57904	2668,3	27590,4	30313,6	109,9
СИ Зефір (ФАО 430)	70 см (контроль)	10,03	56168	2698,1	27061,5	29106,5	107,6
	20,3×76,2 см	10,57	59192	2564,0	27101,2	32090,8	118,4
	20,3×91,4 см	11,06	61936	2515,6	27822,9	34113,1	122,6
	20,3×96,5 см	11,00	61600	2527,9	27807,3	33792,7	121,5

Із даних таблиці 6.1 видно, що вирощування гібридів кукурудзи в середньому за три роки, забезпечило найбільшу вартість валової продукції з 1 га – 59,724 тис. грн/га на посівах гібриду СИ Зефір (ФАО 430), та найменшу собівартість однієї тони зерна – 2576,4 грн/т, тоді як у інших гібридів вона становила СИ Талісман (ФАО 200) – 43,974 тис. грн/га та 3096,48 грн/т, СИ Фотон (ФАО 260) – 49,616 тис. грн/га та 2903,23 грн/т і НК Термо (ФАО 330) – 56,266 тис. грн/га та 2703,51 грн/т.

Вартість валової продукції з 1 га досліджуваних гібридів кукурудзи залежно від способів сівби, в середньому за три роки досліджень склала на

контрольному варіанті (із шириною міжрядь 70 см) – 48,552 тис. грн./га, за схеми сівби 20,3×76,2 см – 51,576 тис. грн/га, 20,3×91,4 см – 55,104 тис. грн/га та 20,3×96,5 см – 54,348 тис. грн/га, а собівартість продукції – 2942,04 грн/т, 2853,81 грн/т, 2725,05 грн/т та 2758,72 грн/га, відповідно.

Затрати на вирощування та умовно чистий прибуток за різних способів сівби становили на контрольному варіанті (із шириною міжрядь 70 см) – 25,258 та 23,294 тис. грн./га, за схеми сівби 20,3×76,2 см – 26,013 та 25,563 тис. грн/га, 20,3×91,4 см – 26,648 та 28,456 тис. грн/га і 20,3×96,5 см – 26,593 та 27,755 тис. грн/га.

Враховуючи виробничі витрати на вирощування та рівень умовно чистого прибутку необхідно відмітити, що найбільш прибутковим (28,456 тис. грн/га) і найменш затратним (26,648 тис. грн/га) способом сівби виявився із схемою 20,3×91,4 см. При цьому рівень прибутку даного способу сівби був вищий на 701,25–5161,93 грн в порівнянні із іншими варіантами дослідів.

Рівень рентабельності за вирощування досліджуваних гібридів за широкорядного способу сівби із шириною міжрядь 70 см (контроль) склав, в середньому для досліджуваних гібридів 91,3 %, за схеми сівби 20,3×76,2 см – 97,6 %, 20,3×91,4 см – 106,3 % і 20,3×96,5 см – 103,8 %. Найбільш сприятливим із економічної сторони виявився спосіб сівби із схемою 20,3×91,4 см який забезпечив найбільший показник рентабельності (106,3 %), що на 2,5–15 % більше в порівнянні із застосуванням інших способів сівби.

Застосування добрив у технологіях вирощування також впливало на показники продуктивності досліджуваних гібридів та на економічну ефективність агрозаходу (табл. 6.2).

Із даних таблиці 6.2 видно, що найкращим варіантом за продуктивністю (11,61 т/га зерна) було внесення азотних добрив (N40 перед сівбою) у поєднанні із мікродобривом Вуксал Р Мах. Вартість валової продукції на даному варіанті становило 65,016 тис. грн/га, витрати на вирощування 27,738 тис. грн/га, умовно чистий прибуток 37,278 тис. грн/га, а рівень рентабельності 134,4 %, тоді як на контрольному варіанті (без добрив) ці

показники становили – 53,760 тис. грн/га, 26,051 тис. грн/га, 27,709 тис. грн/га та 106,4 %, відповідно.

Таблиця 6.2

Економічна ефективність вирощування кукурудзи залежно від системи живлення (середнє за 2021–2023 рр.)

Гібрид	Система удобрення	Урожайність, т/га	Вартість валової продукції, тис.	Собівартість продукції, грн/т	Витрати тис. грн./га	Умовно чистий прибуток, тис. грн./га	Рентабельність, %
СИ Зефір (ФАО 430)	Без внесення добрив (контроль)	9,60	53760	2713,6	26051	27709,3	106,4
	N ₄₀ перед сівбою	10,60	59360	2537,3	26895	32464,7	120,7
	N ₄₀ перед сівбою + Нутривант Плюс Кукурудза	11,32	63392	2430,7	27516	35876,4	130,4
	N ₄₀ перед сівбою + Вуксал Р Мах	11,61	65016	2389,1	27738	37278,1	134,4
	N ₄₀ перед сівбою + Розалік Zn, P, N, S	11,40	63840	2422,9	27621	36218,7	131,1

Оскільки ми плануємо вирощувати кукурудзи не лише на зернові цілі, а і в якості сировини для виробництва біоетанолу проведено розрахунок економічної ефективності вирощування зерна кукурудзи яке буде використовуватися для отримання біоетанолу (табл. 6.3). Для розрахунків економічної ефективності використовували ціну біоетанолу в Україні 0,61 євро за 1 літр.

В середньому за фактором А гібриди мали наступні показники економічної ефективності СИ Талісман (ФАО 200) – 3,469 тис. л/га вихід біоетанолу, 85,696 тис. грн/га – вартість отриманого біоетанолу, 11,255 тис. грн/т – собівартість біоетанолу, 38,853 тис. грн./га – витрати на вирощування та переробку, 46,843 тис. грн. /га умовно чистий прибуток та 120,3 % рівень

рентабельності, у гібриду СИ Фотон (ФАО 260) – 4,08 тис. л/га, 100,803 тис. грн/га, 9,896 тис. грн/т, 40,311 тис. грн./га, 60,491 тис. грн. /га та 150,0 %, НК Термо (ФАО 330) – 4,565 тис. л/га, 112,772 тис. грн/га, 9,161 тис. грн/т, 41,753 тис. грн./га, 71,020 тис. грн. /га та 170,0 % та гібриду СИ Зефір (ФАО 430) – 4,782 тис. л/га, 118,146 тис. грн/га, 8,807 тис. грн/т, 42,066 тис. грн./га, 76,080 тис. грн. /га та 180,8 %, відповідно.

Таблиця 6.3

Економічна ефективність вирощування зерна кукурудзи для виробництва біоетанолу залежно від способів сівби (середнє за 2021–2023 рр.)

Фактор А, гібрид	Фактор В, спосіб сівби	Вихід біоетанолу т/га	Вартість отриманого біоетанолу, тис. грн/га	Собівартість біоетанолу, грн/т	Витрати на вирощування та переробку тис. грн./га	Умовно чистий прибуток, тис. грн./га	Рентабельність, %
СИ Талісман (ФАО 200)	70 см (контроль)	3,073	75918,5	12173,6	37409,5	38509,0	102,9
	20,3×76,2 см	3,343	82588,8	11604,5	38794,0	43794,8	112,9
	20,3×91,4 см	3,766	93039,0	10522,5	39627,8	53411,2	134,8
	20,3×96,5 см	3,693	91235,6	10717,3	39579,1	51656,5	130,5
СИ Фотон (ФАО 260)	70 см (контроль)	3,795	93755,5	10395,2	39449,7	54305,8	137,7
	20,3×76,2 см	4,025	99437,6	10057,5	40481,3	58956,3	145,6
	20,3×91,4 см	4,287	105910,3	9489,9	40683,2	65227,1	160,3
НК Термо (ФАО 330)	20,3×96,5 см	4,214	104106,9	9641,9	40630,8	63476,1	156,2
	70 см (контроль)	4,248	104946,8	9642,9	40963,1	63983,7	156,2
	20,3×76,2 см	4,507	111345,4	9214,3	41528,9	69816,5	168,1
СИ Зефір (ФАО 430)	20,3×91,4 см	4,781	118114,6	8849,7	42310,3	75804,3	179,2
	20,3×96,5 см	4,723	116681,7	8936,7	42207,9	74473,8	176,4
	70 см (контроль)	4,480	110678,4	9303,3	41679,0	68999,4	165,5
СИ Зефір (ФАО 430)	20,3×76,2 см	4,736	117002,9	8808,8	41718,7	75284,2	180,5
	20,3×91,4 см	4,962	122586,2	8553,1	42440,4	80145,8	188,8
	20,3×96,5 см	4,951	122314,5	8568,9	42424,8	79889,7	188,3

Отже, використання гібридів із більш тривалим вегетаційним періодом НК Термо (ФАО 330) та СИ Зефір (ФАО 430) для переробки на біоетанол найбільш вигідне оскільки забезпечує найвищий вихід біоетанолу 4,565–

4,782 тис. л/га, умовно чистий прибуток 71,020–76,080 тис. грн. /га, 170,0–180,8 % рівень рентабельності та найменшу собівартість продукції 8,87–9,161 тис. грн/т.

Способи сівби також впливали на ефективність вирощування зерна кукурудзи придатного для виробництва біоетанолу. Найвищий умовно чистий прибуток та рентабельність у досліджуваних гібридів кукурудзи отримано на варіанті із схемою сівби 20,3×91,4 см – 68,647 тис. грн/га та 165,8 %, тоді як за інших способів сівби дані показники склали 70 см (контроль) – 56,450 тис. грн/га та 140,6 %, 20,3×76,2 см – 61,963 тис. грн/га та 151,8 %, 20,3×96,5 см – 67,374 тис. грн/га та 162,9 %, відповідно.

Аналіз економічної ефективності виробництва біоетанолу із зерна кукурудзи гібриду СИ Зефір залежно від системи удобрення приведено в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4

**Економічна ефективність вирощування зерна гібриду кукурудзи
СИ Зефір для виробництва біоетанолу залежно від системи удобрення
(середнє за 2021–2023 рр.)**

Система удобрення	Вихід біоетанолу т/га	Вартість отриманого біоетанолу, тис. грн/га	Собівартість біоетанолу, грн/т	Витрати на вирощування та переробку тис. грн/га	Умовно чистий прибуток, тис. грн. /га	Рентабельність, %
Без внесення добрив (контроль)	4,294	106083,3	9484,4	40725,8	65357,5	160,5
N ₄₀ перед сівбою	4,732	116904,1	8787,0	41580,3	75323,8	181,2
N ₄₀ перед сівбою + Нутривант Плюс Кукурудза	5,048	124710,8	8357,8	42190,3	82520,5	195,6
N ₄₀ перед сівбою + Вуксал Р Мах	5,134	126835,5	8260,8	42411,1	84424,4	199,1
N ₄₀ перед сівбою + Розалік Zn, P, N, S	5,075	125377,9	8335,7	42303,5	83074,4	196,4

Максимальне значення виходу біоетанолу (5,134 тис. л/га) отримано на

варіанті із внесенням азотних добрив (N₄₀ перед сівбою) у поєднанні із мікродобривом Вуксал Р Мах, умовно чистий прибуток склав 84,424 тис. грн./га, а рівень рентабельності 199,1%. Мінімальне значення виходу біоетанолу одержане на контрольному варіанті (без добрив) 4,294 тис. л/га, за рівня рентабельності 160,5%. Зростання рівня рентабельності від застосування добрив становить 20,7–38,6 % відносно варіанту без удобрення.

Тобто, застосування добрив веде до зростання урожайності та виходу біоетанолу і істотного підвищення ефективності вирощування (рівень рентабельності 181,2–199,1 %).

Аналіз проведених експериментальних досліджень 2021–2023 рр. дозволяє зробити висновок, що за вирощування гібридів кукурудзи із тривалим вегетаційним періодом, із схемою сівби 20,3×91,4 см у поєднанні із внесенням добрив N₄₀ перед сівбою + Вуксал Р Мах отримується найбільша урожайність зерна, вихід біоетанолу та найвищі економічні показники ефективності.

6.2 Енергетична ефективність вирощування кукурудзи

З огляду на використання у рослинництві високоякісних матеріально-технічних та грошових ресурсів для порівняльної оцінки альтернативних технологій за рівнем енергонасиченості спиратися лише на економічні показники недостатньо. Тому для визначення резервів енергозбереження, зокрема у зерновиробництві, особливо актуальним є енергетичний аналіз [277].

Сільське господарство споживає енергію як з поновлюваних, так і непоновлюваних джерел. До прямих слід віднести витрати енергії палива, електроенергії тощо, до непрямих – витрати енергії на створення машин, добрив, хімікатів та інших матеріалів, які задіяні у виробничому процесі. Сучасна агротехніка гібридів кукурудзи повинна забезпечувати мінімізацію витрат агресурсів та забезпечувати як економічні, так і енергетичні переваги [277, 284].

Сьогодні все більшого значення у світовій практиці набуває метод

енергетичної оцінки поряд із традиційними методами оцінки ефективності сільськогосподарського виробництва. Даний метод враховує кількість акумульованої енергії врожаєм та енергії яка затрачається на вирощування цього врожаю. Використання методу енергетичної оцінки дозволяє найбільш точно врахувати і найбільш точно в енергетичному еквіваленті виразити не лише витрати живої енергії і людської праці на технологічні операції та процеси, а й енергію, накопичену продукцією [286].

Енергетична оцінка дає можливість порівнювати різні технології виробництва сільськогосподарської продукції з точки зору витрат енергетичних ресурсів, розрахувати структуру потоків енергії в агроєкосистемах і встановити основні резерви економії технічної енергії в рослинництві. Співвідношення отриманої і затраченої енергії на формування врожаю дає можливість кількісно оцінити енергетичну ефективність вирощування будь-якої культури [286, 287].

Енергетичний коефіцієнт, як основний показник енергетичної ефективності технології вирощування, показує відношення приросту енергії та вмісту енергії в агроресурсах разом із додатковими виробничими затратами на транспортування [288].

В розрахунках енергетичної ефективності технології вирощування зернової кукурудзи враховували такі показники: урожайність, затрати енергії на вирощування, накопичення енергії урожаєм, приріст енергії, енергетичний коефіцієнт та енергоємність отриманої продукції (табл. 6.5 та 6.6).

Встановлено, що витрати енергії відрізнялися за варіантами дослідів – за гібридним складом даний показник варіював в межах 51,72–56,26 ГДж/га на посівах гібриду СИ Талісман, 56,79–59,97 ГДж/га – на варіантах з гібридом СИ Фотон, 61,54–63,64 на варіантах з гібридом НК Термо та 63,28–64,06 ГДж/га – на ділянках з гібридом СИ Зефір (див. табл. 6.5).

Аналіз урожайності зерна кукурудзи та оцінка її енергоємності, в середньому за 2021–2023 рр., підтверджує закономірність залежності приходу енергії загалом від урожайності та істотно коливається в залежності від

гібридного складу.

Енергетичний коефіцієнт виявився найвищим на варіанті із схемою сівби 20,3×91,4 см для гібриду СИ Талісман (ФАО 200) – 2,49, СИ Фотон (ФАО 260) – 2,55, НК Термо (ФАО 330) – 2,73 та СИ Зефір (ФАО 430) – 2,85, тоді як на контрольному варіанті (70 см) він становив – 2,23, 2,41, 2,52 та 2,62.

Таблиця 6.5

Енергетична ефективність технології вирощування кукурудзи залежно від способів сівби (середнє за 2021–2023 рр.)

Фактор А, гібрид	Фактор В, спосіб сівби	Урожайність, т/га	Витрати енергії, ГДж/га, E ₀	Накопичення енергії урожаєм, ГДж/га, E _в	Приріст енергії, ГДж/га E	Енергетичний коефіцієнт, Ke
СИ Талісман (ФАО 200)	70 см (контроль)	6,98	51,72	115,17	63,45	2,23
	20,3×76,2 см	7,59	53,95	125,24	71,29	2,32
	20,3×91,4 см	8,49	56,26	140,09	83,83	2,49
	20,3×96,5 см	8,35	56,18	137,78	81,60	2,45
СИ Фотон (ФАО 260)	70 см (контроль)	8,28	56,79	136,62	79,83	2,41
	20,3×76,2 см	8,75	59,08	144,38	85,30	2,44
	20,3×91,4 см	9,28	59,97	153,12	93,15	2,55
	20,3×96,5 см	9,13	59,71	150,65	90,94	2,52
НК Термо (ФАО 330)	70 см (контроль)	9,39	61,54	154,94	93,40	2,52
	20,3×76,2 см	9,93	63,21	163,85	100,64	2,59
	20,3×91,4 см	10,53	63,64	173,75	110,11	2,73
	20,3×96,5 см	10,34	63,46	170,61	107,15	2,69
СИ Зефір (ФАО 430)	70 см (контроль)	10,03	63,28	165,50	102,22	2,62
	20,3×76,2 см	10,57	63,82	174,41	110,59	2,73
	20,3×91,4 см	11,06	64,06	182,49	118,43	2,85
	20,3×96,5 см	11,00	64,01	181,50	117,49	2,84

Характеристика енергетичної ефективності вирощування гібриду

кукурудзи СИ Зефір залежно від системи живлення приведено в таблиці 6.6. Із даних таблиці 6.2 видно, що найкращим варіантом за значенням енергетичного коефіцієнту був варіант удобрення, що передбачав внесення азотних добрив (N₄₀ перед сівбою) у поєднанні із мікродобривом Вуксал Р Мах – 2,95.

Таблиця 6.6

Енергетична ефективність технології вирощування гібриду кукурудзи СИ Зефір залежно від системи живлення (середнє за 2021–2023 рр.)

Система удобрення	Урожайність, т/га	Витрати енергії, ГДж/га, E ₀	Накопичення енергії урожаєм, ГДж/га, E _в	Приріст енергії, ГДж/га E	Енергетичний коефіцієнт, Ke
Без внесення добрив (контроль)	9,60	62,05	158,40	96,35	2,55
N ₄₀ перед сівбою	10,60	63,81	174,90	111,09	2,74
N ₄₀ перед сівбою + Нутривант Плюс Кукурудза	11,32	64,55	186,78	122,23	2,89
N ₄₀ перед сівбою + Вуксал Р Мах	11,61	65,01	191,57	126,56	2,95
N ₄₀ перед сівбою + Розалік Zn, P, N, S	11,40	64,45	188,10	123,65	2,92

На даному варіанті відмічений також максимальний показник накопичення енергії урожаєм – 191,57 ГДж/га. Отже, на даному варіанті встановлено найкращу в досліді біоенергетичну ефективність вирощування кукурудзи.

Висновки до розділу 6:

1. Аналіз проведених експериментальних досліджень 2021–2023 рр. дає можливість зробити висновок, що за вирощування кукурудзи в умовах Правобережного Лісостепу України біологічні особливості гібридів, способи

сівби та система живлення, в тій або іншій мірі, впливали на економічні показники.

2. Визначено, що порушення просторового характеру розміщення рослин в рядку та міжряддях відносно оптимального $20,3 \times 91,4$ см призводить до зниження величини валової продукції та її вартості.

3. Рівень рентабельності за вирощування досліджуваних гібридів за широкорядного способу сівби із шириною міжрядь 70 см (контроль) склав, в середньому для досліджуваних гібридів 91,3 %, за схеми сівби $20,3 \times 76,2$ см – 97,6 %, $20,3 \times 91,4$ см – 106,3 % і $20,3 \times 96,5$ см – 103,8 %. Найбільш сприятливим із економічної сторони виявився спосіб сівби із схемою $20,3 \times 91,4$ см який забезпечив зростання рівня рентабельності на 2,5–15 % в порівнянні із застосуванням інших способів сівби.

4. Найкращим варіантом за продуктивністю (11,61 т/га зерна) було внесення азотних добрив (N_{40} перед сівбою) у поєднанні із мікродобривом Вуксал Р Мах. Вартість валової продукції на даному варіанті становило 65,016 тис. грн/га, витрати на вирощування 27,738 тис. грн/га, умовно чистий прибуток 37,278 тис. грн/га, а рівень рентабельності 134,4 %, тоді як на контрольному варіанті (без добрив) ці показники становили – 53,760 тис. грн/га, 26,051 тис. грн/га, 27,709 тис. грн/га та 106,4 %, відповідно.

5. Використання гібридів із більш тривалим вегетаційним періодом НК Термо (ФАО 330) та СИ Зефір (ФАО 430) для переробки на біоетанол найбільш вигідне оскільки забезпечує найвищий вихід біоетанолу 4,565–4,782 тис. л/га, умовно чистий прибуток 71,020–76,080 тис. грн. /га, 170,0–180,8 % рівень рентабельності та найменшу собівартість продукції 8,87–9,161 тис. грн/т.

6. Найвищий умовно чистий прибуток та рентабельність у досліджуваних гібридів кукурудзи за вирощування їх на біоетанол отримано на варіанті із схемою сівби $20,3 \times 91,4$ см – 68,647 тис. грн/га та 165,8 %, тоді як за інших способів сівби дані показники склали 70 см (контроль) – 56,450 тис. грн/га та 140,6 %, $20,3 \times 76,2$ см – 61,963 тис. грн/га та 151,8 %, $20,3 \times 96,5$ см –

67,374 тис. грн/га та 162,9 %, відповідно.

7. Максимальне значення виходу біоетанолу (5,134 тис. л/га) отримано на варіанті із внесенням азотних добрив (N_{40} перед сівбою) у поєднанні із мікродобривом Вуксал Р Мах, умовно чистий прибуток склав 84,424 тис. грн./га, а рівень рентабельності 199,1%.

8. Енергетичний коефіцієнт виявився найвищим на варіанті із схемою сівби 20,3×91,4 см для гібриду СИ Талісман (ФАО 200) – 2,49, СИ Фотон (ФАО 260) – 2,55, НК Термо (ФАО 330) – 2,73 та СИ Зефір (ФАО 430) – 2,85, тоді як на контрольному варіанті (70 см) він становив – 2,23, 2,41, 2,52 та 2,62.

9. Найкращим варіантом за значенням енергетичного коефіцієнту був варіант удобрення, що передбачав внесення азотних добрив (N_{40} перед сівбою) у поєднанні із мікродобривом Вуксал Р Мах – 2,95. На даному варіанті відмічений також максимальний показник накопичення енергії врожаєм – 191,57 ГДж/га.

Основні положення дисертації викладені в наукових працях [96, 289].

ВИСНОВКИ

Дослідження, спрямовані на встановлення можливості збільшення продуктивності зернової кукурудзи та переробки її на біоетанол залежно від способів сівби та системи живлення рослин за вирощування в умовах Правобережного Лісостепу України, дозволили виявити основні умови формування продуктивності та якості зерна культури та на їх основі зробити наступні висновки:

1. Вирощування нових високопродуктивних гібридів кукурудзи різних груп стиглості в поєднанні з різними способами сівби та системою удобрення є одними з основних факторів формування продуктивності кукурудзи і знаходяться в залежності від кліматичних та ґрунтових умов зони, агротехніки вирощування та морфолого-біологічних особливостей рослин культури.

2. Встановлено, що на тривалість вегетаційного періоду та проходження окремих фаз росту і розвитку рослин кукурудзи найбільшу частку впливу здійснювала група стиглості гібриду, потім система удобрення, а спосіб сівби був найменше впливовим. Це вказує на чітку генотипову визначеність ознаки, яка має високу середовищну стабільність. Внесення азотних добрив у поєднанні із мікродобривами (N_{40} перед сівбою + Нутривант Плюс Кукурудза; N_{40} перед сівбою + Вуксал Р Мах; N_{40} перед сівбою + Розалік Zn, P, N, S), забезпечує у гібриду кукурудзи СИ Зефір зростання тривалості періоду «сходи–8 листків» та «8 листків–цвітіння волотей» на 1 добу, а тривалості періоду вегетації на 2 доби відносно контрольного варіанту (без внесення добрив) та варіанту де вносилося лише азотне добриво (N_{40} перед сівбою).

3. Максимальні показники висоти рослин гібриду СИ Зефір сформувалися на варіанті із внесенням азотних добрив перед сівбою у нормі 40 кг д. р. /га у поєднанні із внесенням мікродобрива Вуксал Р Мах – 54,5 см у фазу 7–8 листків кукурудзи, 232,6 см у фазу цвітіння волотей, 237,3 см у фазу молочної стиглості зерна та 238,0 у фазу повної стиглості зерна. Найкращим для формування висоти рослин був спосіб сівби кукурудзи зі схемою

20,3×91,4 см, СИ Талісман (ФАО 200) – 215,2 см, 220,0 та 220,4 см, СИ Фотон (ФАО 260) – 221,5 см, 226,1 та 226,5 см, НК Термо (ФАО 330) – 228,2 см, 233,4 та 233,1 см, СИ Зефір (ФАО 430) – 235,2 см, 239,8 та 239,9 см, відповідно у фазу цвітіння волотей, молочної стиглості та повної стиглості зерна. Спосіб сівби також впливав на висоту закладання качанів, найбільше значення кріплення качанів, в середньому за роки досліджень, відмічено за схеми сівби 20,3×91,4 см СИ Талісман – 67,1 см, СИ Фотон – 74,1 см, НК Термо – 97,5 та СИ Зефір – 122,8 см.

4. Найкращі параметри площі листової поверхні склалися за схеми сівби 20,3×96,5 см у гібриду СИ Талісман (ФАО 200) у фазу цвітіння волотей – 35,07 тис. м²/га, молочної стиглості зерна – 33,47 тис. м²/га та повної стиглості зерна 30,10 тис. м²/га, у гібриду СИ Фотон (ФАО 260) – 36,53 тис. м²/га, 34,87 та 31,67 тис. м²/га, НК Термо (ФАО 330) – 39,93 тис. м²/га, 38,37 та 35,03 тис. м²/га, СИ Зефір (ФАО 430) – 42,50 тис. м²/га, 40,87 та 37,17 тис. м²/га, відповідно. Застосування азотних добрив (N₄₀ перед сівбою) у поєднанні із мікродобривом Вуксал Р Мах сприяє формуванню найбільшої асиміляційної поверхні на усіх фазах розвитку гібриду СИ Зефір (8,27 тис. м²/га, 43,73 тис. м²/га, 41,43 та 37,45 тис. м²/га).

5. Встановлено зростання фотосинтетичного потенціалу досліджуваних гібридів кукурудзи за застосування схеми сівби 20,3×96,5 см на 0,95–6,39 % порівняно із іншими способами сівби. Найвище значення фотосинтетичного потенціалу гібриду СИ Зефір у всі періоди вегетації отримано на варіанті із внесенням азотних добрив (N₄₀ перед сівбою) у поєднанні із мікродобривом Вуксал Р Мах – 0,695 млн м² діб/га, 1,277 та 2,121 млн м² діб/га, відповідно. Найбільшу величину чистої продуктивності фотосинтезу встановлено у гібриду СИ Талісман у фазу цвітіння волотей 20,3×96,5 см – 8,948 г/м² за добу, СИ Фотон за схеми посіву 20,3×91,4 см – 7,100 г/м² за добу, НК Термо (ФАО 330) за схеми посіву 20,3×91,4 см – 10,098 г/м² за добу, СИ Зефір (ФАО 430) – 20,3×91,4 см – 10,919 г/м² за добу. Внесення азотних добрив (N₄₀ перед сівбою) у поєднанні із мікродобривом Вуксал Р Мах забезпечує найвище значення

чистої продуктивності фотосинтезу 6,713 г/м² за добу, 10,864 та 6,323 г/м² за добу, відповідно у фазу 7–8 листків, цвітіння волотей та воскової стиглості зерна.

6. Встановлено, що найкращі умови для формування довжини (17,65 см) та діаметру качана (4,60 см), маси зерна з качана (150,98 г) та маси 1000 зерен (229,95 г) склалися на варіанті із застосуванням схеми сівби 20,3×91,4 см, подальша зміна розміщення рослин мала істотно менші показники структури врожаю. Найбільш сприятливі умови живлення рослин із внесенням азотних добрив (N₄₀ перед сівбою) у поєднанні із мікродобривом Вуксал Р Мах забезпечують найвищі параметри структури врожаю, довжину качана – 18,3 см, діаметр качана – 5,0 см, масу зерна з качана – 178,2 г та маса 1000 зерен – 267,6 г, що на 0,3 см, 0,4 см, 30,9 г та 29,0 г більше в порівнянні із контрольним варіантом (без внесення добрив).

7. Використання ранньостиглої групи гібридів кукурудзи та широкорядного способу сівби забезпечує найменше значення передзбиральної вологості зерна – 16,27 % та 17,9 %, відповідно. Найвище значення передзбиральної вологості зерна отримано на варіанті де вносилося азотне добриво N₄₀ перед сівбою у поєднанні із мікродобривом Вуксал Р Мах – 23,4%. Що є негативним оскільки викликає необхідність додаткових затрат на досушування і доведення до базових кондицій такого зерна.

8. Найбільш сприятливою схемою сівби досліджуваних гібридів кукурудзи є 20,3×91,4 см яка забезпечує найвищий рівень урожайності зерна – 9,8 т/га, що на 1,2 т/га більше в порівнянні із контрольним варіантом та на 0,5–1,0 /га порівняно із іншими схемами посіву. Поліпшення умов живлення рослин кукурудзи за рахунок внесення азотних добрив та мікроелементів сприяє зростанню рівня урожайності на 0,68–2,21 т/га в порівнянні із контрольним варіантом (без добрив).

9. Інтенсивність накопичення крохмалю у зерні кукурудзи та його кількість істотно залежить від кліматичних умов року. В межах досліджуваних гібридів найвищий вміст крохмалю в зерні, в середньому за три роки

досліджень, встановлена у середньораннього СИ Фотон – 71,07 %, тоді як в інших гібридів він становив НК Термо (ФАО 330) – 70,09 %, СИ Зефір (ФАО 430) – 69,18 % та СИ Талісман (ФАО 200) – 68,16 %. Найкращою для накопичення крохмалю у зерні була схема сівби 20,3×96,5 см, зростання вмісту крохмалю на даному варіанті становило 0,08–0,50% в порівнянні із іншими варіантами досліду. Застосування азотних добрив та мікроелементів знижує вміст крохмалю та жиру на 0,20–0,85 % та 0,25–0,41 %, а вміст білку підвищує на 0,33–0,71% в порівнянні із контрольним варіантом (без добрив).

10. Відмічене зростання виходу біоетанолу в гібридів із тривалим вегетаційним періодом в порівнянні із скоростиглими формами становило 0,485–1,314 тис. л/га. Оптимізація площі живлення однієї рослини за рахунок зміни схеми розміщення рослин в рядку та міжрядді дозволяє збільшувати вихід біоетанолу у досліджуваних гібридів кукурудзи різних груп стиглості на 0,254–0,550 тис. л/га, в порівнянні із контрольним варіантом (70 см). Застосування азотних добрив (N_{40} перед сівбою) у поєднанні із мікродобривом Вуксал Р Мах сприяє максимального виходу крохмалю – 5,134 тис. л/га, що на 0,840 тис. л/га більше в порівнянні із контрольним варіантом (без застосування добрив).

11. Вміст крохмалю у зерні залежить від чистої продуктивності фотосинтезу в фазу воскової стиглості зерна ($r = 0,552$), маси зерна з качана – ($r = 0,305$), вмісту жиру ($r = 0,449$) та урожайності ($r = 0,305$). Тому врахування даних ознак дозволить правильно підібрати гібриди із високим вмістом крохмалю та урожайністю придатних для виробництва біоетанолу.

12. Найбільш сприятливим із економічної сторони виявився спосіб сівби із схемою 20,3×91,4 см який забезпечив найбільший показник рентабельності, що на 2,5–15 % більше в порівнянні із застосуванням інших способів сівби. Внесення азотних добрив (N_{40} перед сівбою) у поєднанні із мікродобривом Вуксал Р Мах забезпечує найбільшу урожайність гібриду СИ Зефір (11,61 т/га), вартість валової продукції – 65,016 тис. грн/га, умовно чистий прибуток 37,278 тис. грн/га та рівень рентабельності 134,4 %. Використання гібридів із більш

тривалим вегетаційним періодом НК Термо (ФАО 330) та СИ Зефір (ФАО 430) для переробки на біоетанол найбільш вигідне оскільки забезпечує найвищий вихід біоетанолу 4,565–4,782 тис. л/га, умовно чистий прибуток 71,020–76,080 тис. грн./га, 170,0–180,8 % рівень рентабельності та найменшу собівартість продукції 8,87–9,161 тис. грн/т. Максимальне значення виходу біоетанолу (5,134 тис. л/га) отримано на варіанті із внесенням азотних добрив (N_{40} перед сівбою) у поєднанні із мікродобривом Вуксал Р Мах, умовно чистий прибуток склав 84,424 тис. грн./га, а рівень рентабельності 199,1%.

13. Енергетичний коефіцієнт виявився найвищим на варіанті із схемою сівби $20,3 \times 91,4$ см для гібриду СИ Талісман (ФАО 200) – 2,49, СИ Фотон (ФАО 260) – 2,55, НК Термо (ФАО 330) – 2,73 та СИ Зефір (ФАО 430) – 2,85, тоді як на контрольному варіанті (70 см) він становив – 2,23, 2,41, 2,52 та 2,62. Найкращим варіантом за значенням енергетичного коефіцієнту та накопичення енергії врожаю був варіант удобрення, що передбачав внесення азотних добрив (N_{40} перед сівбою) у поєднанні із мікродобривом Вуксал Р Мах – 2,95 та 191,57 ГДж/га.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

Для вирощування зернової кукурудзи придатної для виробництва біоетанолу в умовах Правобережного Лісостепу України з метою більш повного використання ґрунтово-кліматичного потенціалу та економії матеріально-технічних і грошових ресурсів пропонуємо:

– сівбу гібридів кукурудзи СИ Талісман, СИ Фотон, НК Термо та СИ Зефір проводити із схемою сівби $20,3 \times 91,4$ см, що забезпечить максимальну урожайність зерна на рівні 8,49–11,06 т/га, довжину качана – 17,1–18,3 см, діаметр качана 4,3–4,9 см, масу зерна з качана – 130,2–169,7 г, масу 1000 зерен – 220,7–239,8 г, чисту продуктивність фотосинтезу у фазу цвітіння волотей – 8,835–10,919 г/м² за добу, фотосинтетичний потенціал посіву – 0,675–1,018 млн м² діб/га, площу листової поверхні – 34,77–42,03 тис. м²/га, висоту рослин – 215,2–235,2 см;

– на посівах гібриду кукурудзи СИ Зефір застосувати внесення азотних добрив (N₄₀ перед сівбою) у поєднанні із проведенням позакорневих підживлень у фазі 5–6 листків кукурудзи мікродобривом Вуксал Р Мах (2 л/га), що забезпечить найвищу урожайність (11,61 т/га), довжину качана 18,3 см та діаметр – 5,0 см, масу зерна з качана – 178,2 г, масу 1000 зерен – 267,6 г, висоту рослин – 238,0 см, чисту продуктивність фотосинтезу у фазу цвітіння волотей – 10,864 г/м² за добу, площу листової поверхні – 43,73 тис. м²/га;

– для отримання найвищого виходу біоетанолу використовувати гібриди із більш тривалим вегетаційним періодом СИ Зефір (ФАО 430) та НК Термо (ФАО 330), що забезпечує збільшення даного показника на 0,485–1,314 тис. л/га, в порівнянні із скоростиглими формами, схему сівби $20,3 \times 91,4$ см (вихід біоетанолу 4,449 тис. л/га) та внесення азотних добрив (N₄₀ перед сівбою) у поєднанні із мікродобривом Вуксал Р Мах (2 л/га) – 5,134 тис. л/га.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гадзало Я. М., Гладій М. В., Саблук П. Т., Лузан Ю. Я. Розвиток аграрної сфери економіки в умовах децентралізації управління в Україні. Київ: Аграрна наука, 2018. 328 с.
2. Гудзенко В. М., Поліщук В. М., Бабій О. О., Худолій Л. В. Productivity and adaptability of Myronivka spring barley varieties of different breeding periods. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2018. 14(2). 190–202.
3. Паламарчук В. Д., Колісник О. М. Сучасна технологія вирощування кукурудзи для енергоефективного та екологічнобезпечного розвитку сільських територій: монографія. Вінниця: ТОВ Друк, 2022. 372 с.
4. Паламарчук В. Д., Кричковський В. Ю., Рудська Н. О., Колісник О. М. Новітні технології вирощування овочевих культур та кукурудзи за використання дигестату біогазових станцій: монографія. Вінниця: ТОВ Друк, 2023. 296 с.
5. Павліченко К.В., Грабовський М.Б. Урожайність зеленої і сухої маси гібридів кукурудзи та вихід біогазу залежно від застосування макро- і мікродобрих. *Зрошуване землеробство*. 2022. Вип. 77. С. 79–85.
6. Гавриш В. І. Забезпечення ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів у аграрному секторі економіки: теорія, методологія, практика: монографія. Миколаїв: МДАУ, 2007. 283 с.
7. Роїк М. В., Курило В. Л., Гументик М. Я., Ганженко О. М. Фітоенергетичні культури. *Агроном*. 2013. Вип. 3. С. 193.
8. Yawson D. O., Adu M. O., Armah F. A. Impacts of climate change and mitigation policies on malt barley supplies and associated virtual water flows in the UK. *Scientific Reports*. 2020. V. 10. 376 p.
9. Kaminskyi V. F., Asanishvili N. M. Formation of corn grain quality in different directions of use depending on the technology of growing in the Forest-steppe. *Feeds and Feed Production*. 2020. №. 89. С. 74-84.
10. Калетнік Г. М. Соціально-економічне значення розвитку ринку біопалива

в Україні. *Економіка АПК*. 2008. № 6. С. 128–132.

11. Дубровін В. О., Мельничук М.Д., Мельник Ю.Ф. та ін. Біоенергія в Україні – розвиток сільських територій та можливості для окремих громад. К.: 2009. 120 с.

12. Береговий В. К. Біопаливо і продовольча проблема. *Інвестиції: практика та досвід*. 2011. № 14. С. 30–33.

13. Полішкевич О. Р. Стратегія розвитку виробництва та переробки зерна кукурудзи як шлях вирішення енергетичної незалежності та безпеки України. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. 2015. Вип. 28. С. 216–222.

14. Соколік С. П. Перспективи використання кукурудзи на зерно в якості біопалива. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2016. Вип. 173. С. 168–176.

15. Калетнік Г. Н. Соціально-економічне забезпечення розвитку ринку біопалива в Україні. *Економіка АПК*. 2000. № 6. С. 128–130.

16. Zhang S., Zhang X., Geng Z., Liu X., Wang Y., Liu Z., Liu H. Preparation of corn-oil as an alternative fuel and transcriptome analysis of metabolic pathway related to fuel component accumulation. *Fuel*. 2020. №275. 117931.

17. Калетнік Г. Н. Економічна ефективність розвитку ринку біопалива в Україні. *Проблеми науки*. 2008. №12. С. 41–42.

18. Святченко С. І. Економічні розрахунки витрат при виробництві біопалива. *Вісник Харківської області*. 2010. Вип. 8. С. 274–279.

19. Klymchuk O., Khodakivska O., Kovalov B., Brusina A., Benetyte R., Momotenko I. World trends in bioethanol and biodiesel production in the context of sustainable energy development. *International Journal of Global Environmental Issues*. 2020. №19(1-3). P. 90–108.

20. Грабовський М.Б. Кукурудза для виробництва біогазу. *Агробізнес сьогодні*. 2020. №8 (423). С. 42–44.

21. Romaniuk W., Zheliezna T., Drahnev S., Bashtovyi A., Sobczuk H., Marczuk A., Borek K. Prospects for production and consumption of second

- generation biofuels in Ukraine. *Agricultural Engineering*. 2018. №22(4). P. 71–79.
22. Гелету́ха Г., Желе́зна Т. Виробництво біоетанолу в Україні: стан і перспективи розвитку. 2023. URL: <http://milkuia.info/uk/post/virobnictvo-bioetanolu-v-ukraini-stan-i-perspektivi-rozvitku>.
23. Голуб Г. А., Кухарець С. М. Марус О. А. та ін. Біоенергетичні системи в аграрному виробництві. / За ред. Г.А. Голуба. К.: НУБіП України, 2017. 229 с.
24. Пришляк В. М., Пришляк Н. В. Техніко-економічні та екологічні аспекти виробництва біоетанолу в Україні. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2013. Вип. 19. С. 219–226.
25. Калетнік Г. М., Гончарук І. В. Економічні розрахунки потенціалу виробництва відновлювальної біоенергії у формуванні енергетичної незалежності агропромислового комплексу. *Економіка АПК*. 2020. № 9. С. 6–16.
26. Гонтарук Я. В. Шевчук Г. В. Напрями вдосконалення виробництва та переробки продукції АПК на біопаливо. *Економіка та суспільство*. 2022. Вип. 36. Електронний журнал. URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/1128/1086>
27. 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*. 2022. № 125. С. 25–32.
28. Balat M. Production of bioethanol from lignocellulosic materials via the biochemical pathway: a review. *Energy conversion and management*. 2011. Т. 52. №. 2. P. 858–875..
29. Tse T. J., Wiens D. J., Reaney M. J. T. Production of bioethanol – A review of factors affecting ethanol yield. *Fermentation*. 2021. Т. 7. №. 4. 268.
30. Шпичак О. М. Проблеми продовольчої безпеки та біопаливо. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2009. №141. С. 18–27.
31. Duarah P., Haldar D., Patel A. K., Dong C. D., Singhania R. R., Purkait M. K. A review on global perspectives of sustainable development in bioenergy generation. *Bioresource Technology*. 2022. 348. 126791.

32. Мазур В. А., Паламарчук В. Д., Поліщук І. С., Паламарчук О. Д. Новітні агротехнології у рослинництві: Підручник. Вінниця, 2017. 588 с.
33. Паламарчук В. Д., Дідур І. М., Колісник О. М., Алексєєв О. О. Аспекти сучасної технології вирощування висококрохмальної кукурудзи в умовах Правобережного Лісостепу України. Вінниця: Видавництво «Друк». 2020. 536 с.
34. Драгнєв С. В., Железна Т. А., Гелетуха Г. Г. Можливості заготівлі побічної продукції кукурудзи на зерно для енергетичного використання в Україні. Аналітична записка БАУ №16. 2016. 51 с. www.uabio.org/activity/uabio-analytics.
35. Грабовський М.Б. Особливості технології вирощування кукурудзи як сировини для виробництва біогазу. *Рослинництво та ґрунтознавство*. 2019. Т. 10. №1. С. 12–17.
36. Черчель В. Ю., Дзюбецький Б. В., Кондратенко П. В. та ін. Програма вирощування кукурудзи в Україні в умовах зміни клімату / За ред. М. І. Дудки. Дніпро: ДУ ІЗК НААН, 2021. 44 с.
37. Доронін А. В. Конкурентоспроможність виробництва біопалива на підприємствах АПК в контексті продовольчої безпеки України. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Економіка і менеджмент*. 2015. Вип. 4. С. 127–131.
38. Bozhkova V., Melnyk L., Derykolenko O., Yevdokimov Y., Dehtyarova I., Pasyevin O. The system of indicators for alternative energy development in the context of the green economy. *International Journal of Global Environmental Issues*. 2020. №19(1-3). P. 70-89.
39. Пащенко Ю. М. Борисов В. М., Шишкіна О. Ю. Адаптивні і ресурсозберіжні технології вирощування гібридів кукурудзи: монографія. Дніпропетровськ: АРТ-ПРЕС. 2009. 224 с.
40. Мазур В. А., Шевченко Н. В. Вплив технологічних прийомів вирощування на формування якісних показників зерна кукурудзи. *Сільське господарство та лісівництво*. 2017. Вип. 6. Том 1. С. 7–13.
41. Andrusiv U., Zelinska H., Galtsova O., Kupalova H., Goncharenko N. (). The modeling and forecasting of fuel and energy resources usage in the context of the energy

independence of Ukraine. *Polityka energetyczna*. 2021. 24(1). 2312.

42. Паламарчук В. Д., Мазур В. А., Зозуля О. Л. Кукурудза. Селекція та вирощування гібридів: монографія. Вінниця: ПП Павлюк І.Б. ВДАУ, 2009. 199 с.

43. Калетнік Г. М., Паламарчук В. Д., Гончарук І. В., Ємчик Т. В., Телекало Н. В. Перспективи використання кукурудзи для енергоефективного та екологічнобезпечного розвитку сільських територій: монографія. Вінниця: ФОП Кушнір Ю. В., 2021. 260 с.

44. Черенков А. В., Циков В. С., Дзюбецький Б. В., Шевченко М. С. та ін. Інтенсифікація технологій вирощування кукурудзи на зерно – гарантія стабілізації урожайності на рівні 90–100 ц/га (практичні рекомендації). Дніпропетровськ: ДУ Інститут сільського господарства степової зони НААН України, 2012. 31 с.

45. Pryshliak N., Tokarchuk D. Socio-economic and environmental benefits of biofuel production development from agricultural waste in Ukraine. *Environmental & Socio-economic Studies*. 2020. Т. 8. №. 1. P. 18–27.

46. Сатановська І. П. Тривалість вегетаційного періоду різностиглих гібридів кукурудзи залежно від біологічних препаратів та погодних умов. *Агрпроміслові виробництва Полісся*. 2013. Вип. 6. С. 148–152.

47. Грабовський М.Б. Потенціал виробництва біогазу з силосної маси сорго цукрового та кукурудзи. *Таврійський науковий вісник*. 2019. Вип. 106. С.26–32.

48. Haarhoff S. J., Swanepoel P. A. Plant population and maize grain yield: a global systematic review of rainfed trials. *Crop Science*. 2018. (58). P. 1819-1829.

49. Грабовський М. Б., Грабовська Т. О., Ображій С. В. Вплив гідротермічних умов вегетації на урожайність гібридів кукурудзи різних груп стиглості в умовах центрального Лісостепу України. *Агробіологія*. 2014. №1 (109). С. 57–61.

50. Batidzirai B., Valk M., Wicke B., Junginger M., Daioglou V., Euler W., Faaij A. P. C. Current and future technical, economic and environmental feasibility of maize and wheat residues supply for biomass energy application: Illustrated for South Africa. *Biomass and Bioenergy*. 2016. №92. P. 106–129.

51. Камінський В. Ф., Сайко В. Ф., Душко М. В., Асанішвілі Н. М. та ін. Наукові основи ефективності використання виробничих ресурсів у різних моделях технологій вирощування зернових культур: монографія. Київ: Видавничий дім «Вінніченко», 2017. 580 с.

52. Чмель О. П., Мілютенко Т. Б. Лізиметричні дослідження при оцінці хімічної меліорації ґрунтів та інокуляції насіння кукурудзи. *Наукові праці інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2014. Вип. 21. С. 44–48.

53. Паламарчук В. Д., Климчук О. В., Поліщук І. С., Колісник О. М., Борівський А. Ф. Еколого-біологічні та технологічні принципи вирощування польових культур. Вінниця: ФОП Данилюк, 2010. 636 с.

54. Паламарчук В. Д., Поліщук І. С., Венедіктов О. М. Системи сучасних інтенсивних технологій у рослинництві. Вінниця: ФОП Данилюк, 2011. 432 с.

55. Khatri-Chhetri A., Aggarwal P. K., Joshi P. K., Vyas S. Farmers' prioritization of climate-smart agriculture (CSA) technologies. *Agricultural systems*. 2017. №151. P. 184–191.

56. Муляр М. М. Водний режим ґрунту і забур'яненість посівів вихідних форм гібридів кукурудзи залежно від строків сівби в Південному Степу. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2012. Вип. 79. Ч. 1. Агрономія. С. 76–81.

57. Grabovskyi M., Lozinskyi M., Grabovska T. Roubík H. Green mass to biogas in Ukraine – bioenergy potential of corn and sweet sorghum. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2023. 13, 3309–3317. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01316-0>

58. Sims R. E., Hastings A., Schlamadinger B., Taylor G., Smith P. Energy crops: current status and future prospects. *Global change biology*. 2006. №12(11). P. 2054–2076.

59. Панченко Т., Грабовський М., Лозінський М., Новохацький М., Панченко М. Кукурудза на зерно – альтернативний попередник пшениці озимої в Центральному Лісостепу України. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського*

господарства України. 2021. Вип. 29 (43). С. 159-171.

60. Медведовський О. К., Іваненко П. І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві. К.: Урожай, 2008. 208 с.

61. Паламарчук В. Д., Поліщук М. І., Паламарчук О. Д. Енергетична ефективність вирощування зернової кукурудзи залежно від позакореневих підживлень в умовах Лісостепу України. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2014. № 83, Вип. 6. С. 63–71.

62. Климчук О. В. Кукурудза в енергетичному виробництві біологічних видів палив. *Корми і кормовиробництво*. 2013. Вип. 76. С. 230–236.

63. Андрієнко А., Дергачов Д., Кузьміч В., Токар Б. Стресові фактори для кукурудзи та мінімізація їхнього впливу. *Пропозиція*. 2017. № 3. С. 94–97.

64. Рибалка О. І., Червоніс М. В., Моргун Б. В., Починок В. М., Поліщук С. С. Генетичні та селекційні критерії створення сортів зернових культур спирто-дистилятного напрямку технологічного використання зерна. *Фізіологія і біохімія культурних рослин*. 2013. Т. 45. № 1. С. 3–20.

65. Паламарчук В. Д., Алексєєв О. О. Вміст крохмалю у зерні кукурудзи залежно від позакореневих підживлень. *Сільське господарство та лісівництво*. № 1 (16). 2020. С. 28–47. URL: [//forestry.vsau.org/storage/articles/May2020/ryvJlb0T47YGLgWqBLHr.pdf](http://forestry.vsau.org/storage/articles/May2020/ryvJlb0T47YGLgWqBLHr.pdf).

66. Дзюбецький Б. В., Черчель В. Ю. Урожайність зерна скоростиглих гібридів кукурудзи різних сортозмін. *Вісник аграрної науки*. 2017. 8. С. 19–23.

67. Марченко Т. Ю., Нужна М. В., Боденко Н. А. Моделі гібридів кукурудзи FAO 150–490 для умов зрошення. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2018. Т. 14, № 1. С. 58–64.

68. Присяжнюк Л. М., Шовгун О. О., Король Л. В., Коровко І. І. Оцінка показників стабільності й пластичності нових гібридів кукурудзи (*Zea mays* L.) в умовах Полісся та Степу України. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2016. № 2. С. 16-21.

69. Ситник В. П. Кукурудза – основа кормової бази високопродуктивного

тваринництва. *Вісник аграрної науки*. 2005. № 8. С. 5–7.

70. Маслак О., Радченко М. Віддаємо перевагу кукурудзі. *Agroexpert*. 2010. № 5 (22). С. 12–16.

71. Гангур В. В., Лень О. І., Гангур Ю. М. Продуктивність короткоротаційних сівозмін за максимальної частки в них сої та кукурудзи при вирощуванні в умовах недостатнього зволоження Лівобережного Лісостепу України. *Зернові культури*. 2017. Том 1, № 2. С. 313–319.

72. Вожегова, Р.А., Боровик В.О., Грабовський М.Б., Марченко Т.Ю., Грабовська Т.О. Нішеві культури – нові можливості агропромислового комплексу України. *Аграрні інновації*. 2022. №13. С. 181–189.

73. Беліков Є. І., Алдошин А. В., Купріченкова Т. Г. Селекційна цінність тесткросів в різних екологічних умовах. *Бюлетень Інституту зернового господарства УААН*. 2002. № 18–19. С. 35–38.

74. Беліков Є. І., Купріченкова Т. Г., Гуманенко О. С. Густота стояння рослин як фактор визначення екологічної пластичності та адаптивної здатності ранньостиглих гібридів кукурудзи. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України*. 2014. №6. С. 33–37.

75. Молдован В. Г., Молдован Ж. А. Ефективність використання цинку у позакореновому підживленні кукурудзи у Західному Лісостепу України. *Зернові культури*. 2023. Том 7. № 1. С. 146–152.

76. Паламарчук В. Д., Коваленко О. А. Вплив позакоренових підживлень на рівень передзбиральної вологості зерна гібридів кукурудзи. *Зрошуване землеробство*. 2018. Вип. 69. С. 58–63.

77. Паламарчук В. Д., Каленська С. М., Єрмакова Л. М., Поліщук І. С., Поліщук М. І. Системи сучасних інтенсивних технологій у рослинництві. Вінниця: ФОП Рогальська І. О., 2015. 452 с.

78. Калетнік Г. М. Баланс енергії – критерій оцінювання виробництва біоетанолу та біодизельного пального з зернових й олійних культур. *Проблеми науки*. 2008. № 11. С. 37–42.

79. Шпаар Д. Кукурудза. Вирощування, збирання, консервування та

використання. Київ: «Альфа-Стевія ЛТД», 2009. 396 с.

80. Остроський І. Л., Ямковий І. О. Високопродуктивні гібриди кукурудзи – комбінація вашого успіху. *Агроном*. 2014. № 1(43). С. 130–140.

81. Кириченко В. В., Гур'єва І. А., Кузьмишина Н. В., Рябчун В. К., Чернобай Л. М. Інтенсифікація використання генофонду кукурудзи в гетерозисній селекції / За редакцією академіка НААН В. В. Кириченка, НААН. Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва. Харків, 2019. 326 с.

82. Гангур В. В., Коваленко Н. П. Ефективне розміщення зернових культур в сівоzmінах Лісостепу. *Вісник аграрної науки*. 2003. № 4. С. 35–37.

83. Слюсар І. Т. Система землеробства на осушуваних ґрунтах гумідної зони України: проблеми, шляхи вирішення. *Меліорація і водне господарство: міжвідомчий тематичний науковий збірник*. 2005. Вип. 92. С. 95–100.

84. Задубинна Є. В., Тарасенко Т. В., Богатир Л. В. Особливості формування продуктивності кукурудзи на торфових ґрунтах Лісостепу України. *Наукові праці інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2014. Вип. 21. С. 121–127.

85. Дудка М. І., Якунін О. П., Пустовий С. І. Агроекономічна ефективність вирощування зерна кукурудзи залежно від фону удобрення та позакореневого підживлення. *Зернові культури*. 2020. Том 4. № 2. С. 313–318.

86. Дудка М. І., Якунін О. П. Формування врожайності зерна кукурудзи залежно від способу сівби та густоти стояння рослин в Північному Степу України. *Зернові культури*. 2023. Том 7. № 1. С. 76–84.

87. Кавецький О., Ісичко О. Перспективність використання ранньостиглих гібридів кукурудзи. *Пропозиція*. 2005. № 1. С. 54–55.

88. Косарський В. Ю., Грицун О. Л., Патюшенко С. О. Вплив густоти рослин на врожайність зерна кукурудзи. *Агроном*. 2010. № 3. С. 70–72.

89. Лихочвор В. В., Петриченко В. Ф., Іващук П. В. Зерновиробництво. Львів: НВФ Українські технології, 2008. 624 с.

90. Паламарчук В. Д., Климчук О. В. Альтернативні аспекти використання зерна кукурудзи для отримання біоетанолу. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2010.

Вип. 42. №. 4. С. 123–129.

91. Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Степу України. / За ред. М. В. Зубеця. Київ: Аграрна наука, 2010. 986 с.

92. Шинкарук В. А., Коваленко О. А., Романенко В. М. Продуктивність гібридів кукурудзи та витрати на досушування зерна в умовах центральної частини Вінницької області. *Наукові праці ЧДУ ім. П. Могили*. 2011. Т. 150, Вип. 138. Екологія. С. 37–42.

93. Ісаєнков В. В. Продуктивність гібридів кукурудзи різних груп стиглості залежно від густоти стояння рослин. *Бюлетень Інституту зернового господарства УААН*. 2011. № 1. С. 124–127.

94. Грабовський М.Б. Продуктивність кукурудзи на силос та вихід біогазу залежно від густоти стояння рослин. *Наукові горизонти*. 2019. №7 (80). С. 15–21.

95. Бомба М., Дудар І., Тучапський О., Кацюба А., Гринда Ю. Урожайність гібридів кукурудзи залежно від площі живлення в умовах Західного Лісостепу. *Вісник ЛНАУ. Агрономія*. 2017. №21. С. 48–52.

96. Грабовський М. Б., Степаненко М. В. Вплив способу сівби на формування продуктивності кукурудзи. *«Роль науково-технічного забезпечення розвитку агропромислового комплексу в сучасних ринкових умовах»: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції (Дніпро, 25 лютого, 2021 р.)*. НААН, ДУ Інститут зернових культур. Дніпро, 2021. С. 159–160.

97. Паламарчук В. Д., Паламарчук О. Д., Волчанська І. В., Мельник В. В. Вплив елементів технології вирощування на продуктивність зернової кукурудзи. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2012. Вип. 1 (57). С. 75–80.

98. Грабовський М.Б., Грабовська Т.О. Продуктивність кукурудзи на силос в залежності від густоти стояння рослин. *Агробіологія*. 2015, №2 (121). С. 77–83.

99. Лавриненко Ю.О., Міщенко С.В., Марченко Т.Ю., Пілярська О.О., Кобизєва Л.Н., Грабовський М.Б. Фотосинтетичні показники гібридів

кукурудзи залежно від густоти посіву і обробітку біопрепаратами за умов зрошення. *Аграрні інновації*. 2022. №12. С. 41–47.

100. Малієнко А. М. Напрямок розвитку і сучасні тенденції технологій обробітку ґрунту. *Посібник українського хлібороба: науково-практичний щорічник*. 2010. С. 91–93.

101. Vozhehova R., Lavrynenko Y., Marchenko T., Piliarska O., Sharii V., Tyshchenko A., Drobit O., Mishchenko S., Grabovskyi M. Water Consumption and efficiency of irrigation of maize hybrids of different FAO groups in the southern steppe of Ukraine. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*. 2022. Vol. LXV. №1. 603–612.

102. Чернілевський М. С., Білявський Ю. А., Кропивиницький Р. Б., Ворона Л. І. Агротехнічні вимоги та оцінка якості обробітку ґрунту. 2-ге вид., допов. Житомир: Видавництво ЖНАЕУ, 2012. 88 с.

103. Лебідь Е. М. та ін. Родючість ґрунту та врожайність польових культур за різних систем обробітку та удобрення в сівозміні. *Вісник ДДАУ*. 2013. № 2 (32). С. 26–31.

104. Балюк С. А., Медведєв В. В. та ін. Національна доповідь про стан родючості ґрунтів України. К., 2010. 112 с.

105. Косолап М. П., Кротінов О. П. Система землеробства No-till: Навчальний посібник. К.: «Логос», 2011. 352 с.

106. Кабанець В. М., Собко М. Г., Дубовик І. І. та ін. Технологія вирощування кукурудзи на зерно. Сад: Інститут сільського господарства Північного Сходу, 2012. 20 с.

107. Цехмейструк М. Г., Музафаров Н. М., Манько К. М. Аспекти вирощування кукурудзи. *Агробізнес сьогодні*, 2014. №8 (279). С. 28–33.

108. Паламарчук В. Д., Поліщук І. С., Єрмакова Л. М., Каленська С. М. Системи сучасних інтенсивних технологій (2-ге видання виправ. та допов.). Вінниця: ФОП Рогальська І.О., 2012. 370 с.

109. Кирпа М. Я. Методологія визначення і нормування якості насіння (*Zea Mais L.*) в Україні. *Бюлетень Інститут сільського господарства степової зони*

НААН України. 2014. № 6. С. 15–21.

110. Кирпа М. Я., Базілева Ю. С. Порівняльна характеристика методів оцінки якості насіння кукурудзи. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України*. 2014. №6. С. 52–56.

111. Кирпа М. Я., Ковальов Д. В., Філіпкова Н. С. Фізичні показники насіння кукурудзи та їх технологічне значення в процесах обробки і зберігання посівного матеріалу. *Зернові культури*. 2023. Том 7. № 1. С. 55–61.

112. Паламарчук В. Д. Вміст крохмалю у зерні гібридів кукурудзи залежно від строків посіву. *Сільське господарство та лісівництво*. 2017. № 7 (Т. 1). С. 37–45.

113. Паламарчук В. Д. Вплив глибини загортання та фракції насіння на вміст крохмалю у зерні кукурудзи та вихід біоетанолу. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2018. № 2. С. 55–65.

114. Palamarchuk V., Telekalo N. The effect of seed size and seeding depth on the components of maize yield structure. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2018. Issue 24 (№ 5). P. 785–792.

115. Писаренко П. В., Лавриненко Ю. О., Коковіхін С. В. Густота стояння рослин гібридів кукурудзи в умовах південного Степу. *Хранение и переработка зерна*. 2002. № 7. С. 28–30.

116. Циков В. С. Кукурудза: технологія, гібриди, насіння. Дніпропетровськ: Зоря, 2003. 296 с.

117. Грабовський М. Б. Продуктивність сумісних посівів сорго цукрового й кукурудзи та вихід біогазу залежно від густоти стояння рослин і ширини міжрядь. *Біоенергетика*. 2018. №2 (12). С. 32–34.

118. Дробітько О. М. Особливості формування продуктивності кукурудзи залежно від просторового і кількісного розміщення рослин в агрофітоценозі в умовах Південно-Західного Степу. *Корми і кормовиробництво*. 2008. Вип. 60. С. 62–68.

119. Дробітько А. В., Нікончук Н. В. Структура рослин та урожайність кукурудзи залежно від способу сівби і густоти рослин. *Наукові праці МНАУ*. 2011.

С. 15–17.

120. Грабовський М. Б., Федорук Ю. В., Правдива Л. А., Грабовська Т.О. Вплив площі живлення рослин сорго цукрового та кукурудзи на їх ріст, розвиток та урожайність зеленої маси в сумісних посівах. Наукові доповіді НУБіП України. 2018. № 5 (75). URL:<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/dopovidi2018.05.024>

121. Комарский В. Ю., Грицун О. Л., Пантюшенко С. О. Вплив густоти рослин та способів сівби на урожайність зерна кукурудзи в умовах східної частини Степу України. *Вісник Донецького національного університету. Серія А: Природничі науки*. 2010. Вип. 2. С. 244–248.

122. Кравець С. С. Оптимізація способів сівби кукурудзи в північній частині Степу. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України*. 2013. № 4. С. 58–61.

123. Паламарчук В. Д., Коваленко О. А. Вплив строків сівби на рівень передзбиральної вологості зерна гібридів кукурудзи. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2017. Вип. 4. С. 81–88.

124. Паламарчук В. Д. Вплив строків сівби на площу листкової поверхні гібридів кукурудзи різних груп стиглості. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Агронімія*. 2018. № 22 (1). С. 290–299.

125. Паламарчук В. Д., Коваленко О. А. Формування висоти закладання качанів у гібридів кукурудзи залежно від строків сівби. *Таврійський науковий вісник*. 2018. Вип. 100. Т. 2. С. 26–33.

126. Паламарчук В. Д., Коваленко О. А. Тривалість окремих міжфазних та вегетаційного періодів гібридів кукурудзи залежно від строків сівби. *Таврійський науковий вісник*. 2019. Вип. 106. С. 119–127.

127. Судак В. М., Горбатенко А. І., Матюха В. Л., Кулик А. О. Ефективність застосування гербіцидів у технології вирощування кукурудзи. *Зернові культури*. 2020. Том 4. № 2. С. 363–371.

128. Паламарчук В. Д., Поліщук М. І., Паламарчук О. Д. Вплив системи

удобрення на стійкість гібридів кукурудзи до стеблового кукурудзяного метелика. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2013. Вип. 17. Т. I. С. 240–244.

129. Грабовський М.Б. Гербициди на кукурудзі. *The Ukrainian Farmer*, лютий 2012. С. 34–38.

130. Likun Li, Fajun Chen, Guangnan Xing. Effects of fertilizer level and intercropping planting pattern with corn on the yield-related traits and insect community of soybean. *Agronomy*. 2022. 12(12). P. 3080.

131. Грабовський М.Б., Грабовська Т.О., Ображій С.В. Формування продуктивності сумісних посівів кукурудзи і сорго цукрового залежно від заходів захисту рослин від бур'янів. *Агробіологія*. 2016, №1 (124). С. 28–36.

132. Kraehmer H., Laber B., Rosinger C., Schulz A. Herbicides as weed control agents: state of the art: i. weed control research and safener technology: the path to modern agriculture. *Plant physiol*. 2014. № 166(3). P. 1119–1131.

133. Selvakumar S., Ariraman R. Effect of tillage on weed shift and its managements. *Agricultural Reviews*. 2022. № 2. P. 1–6. DOI: 10.18805/ag.R-2223.

134. Tormena C. A., Karlen D. L., Logsdon S., Cherubin M. R. Corn stover harvest and tillage impacts on near-surface soil physical quality. *Soil and Tillage Research*. 2017. Vol. 166. P. 122–130.

135. Karlen D. L., Stott D. E., Cambardella C. A., Kremer R. J., King K. W. McCarty G. W. Surface soil quality in five midwestern cropland Conservation Effects Assessment Project watersheds. *J. Soil Water Conserv*. 2014. 69(5). P. 393–401.

136. Stewart C. E., Follett R. F., Pruessner E. G., Varvel G. E., Vogel K. P. Mitchell R.B. Nitrogen and harvest effects on soil properties under rainfed switchgrass and no-till corn over 9 years: Implications for soil quality. *Glob. Change Biol. Bioenergy*. 2015. 7. P. 288–301.

137. Іващенко О. О. Пріоритетні напрями досліджень з проблем сучасної гербології. *Особливості забур'янення посівів і захист від бур'янів у сучасних умовах*. Київ: Світ, 2000. С. 3–7.

138. Лебідь Є. М., Дзюбецький Б. В., Циков В. С. [та ін.]. Енергозбережні і

ресурсоощадні технології вирощування кукурудзи. /За ред. Ю. М. Пащенко. Інститут зернового господарства УААН. Дніпропетровськ, 2006. 27 с.

139. Грабовський М.Б. Сівба кукурудзи. *Агробізнес сьогодні*. 2011. №8 (207). С. 20–22.

140. Villamil M. B., Nafziger E. D. 2015. Corn residue, tillage, and nitrogen rate effects on soil carbon and nutrient stocks in Illinois. *Geoderma*. 2015. 253–254. P. 61–66.

141. Грабовський М.Б. Продуктивність кукурудзи на силос та вихід біогазу залежно від заходів контролювання чисельності бур'янів. *Зернові культури*. 2017. Том 1. №2. С.269–278.

142. Зуза В. С. Вплив післясходових гербіцидів широкого спектру дії на бур'яни і кукурудзу. *Вісник аграрної науки*. 2010. №4. С. 31–33.

143. Wegner B. R., Kumar S., Osborne S. L., Schumacher T. E., Vahyala I. E., Eynard A. Soil response to corn residue removal and cover crops in eastern South Dakota. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2015. 79. P. 1179–1187. DOI:10.2136/sssaj2014.10.0399.

144. Грабовський М.Б. Вплив заходів контролювання чисельності бур'янів на ріст та розвиток кукурудзи. *Агробіологія*. 2017. №2 (135). С. 45–54.

145. Мокрієнко В. А. Захистимо кукурудзу від шкідливих організмів. *Сучасні аграрні технології*. 2013. № 6. С. 20–25.

146. Марков І. Діагностика хвороб кукурудзи. *Агробізнес сьогодні*. 2011. № 5(203). С. 23–25.

147. Redinbaugh M. G., Zambrano J. L. Control of virus diseases in maize. *Advances in virus research*. 2014. Т. 90. P. 391–429.

148. Juroszek P., Tiedemann A. Climatic changes and the potential future importance of maize diseases: A short review. *Journal of Plant Diseases and Protection*. 2013. Т. 120. P. 49-56.

149. Oldenburg E., Höppner F., Ellner F., Weinert J. Fusarium diseases of maize associated with mycotoxin contamination of agricultural products intended to be used for food and feed. *Mycotoxin research*. 2017. №33(3). P. 167–182.

150. Снігур Г., Поліщук В., Коваленко О. Віруси і вірусні хвороби кукурудзи та заходи боротьби з ними. *Пропозиція*. 2014. № 3. С. 116–119.

151. Ahila Priyadharshini R., Arivazhagan S., Arun M., Mirnalini A. Maize leaf disease classification using deep convolutional neural networks. *Neural Computing and Applications*. 2019. №31, P. 8887–8895.
152. Grabovskyi M., Mostypan O., Fedoruk Y., Kozak L., Ostrenko M. Formation of grain yield and quality indicators of soybeans under the influence of fungicidal protection. *Scientific Horizons*. 2023. №26(2). 66–76.
153. Yang Q., Balint-Kurti P., Xu M. Quantitative disease resistance: dissection and adoption in maize. *Molecular plant*. 2017. T. 10. №. 3. P. 402–413.
154. Zhang Y., Wa S., Liu Y., Zhou X., Sun P., Ma Q. High-accuracy detection of maize leaf diseases CNN based on multi-pathway activation function module. *Remote Sensing*. 2021. №13(21). 4218.
155. Lanubile A., Maschietto V., Borrelli V. M., Stagnati L., Logrieco A. F., Marocco A. Molecular basis of resistance to fusarium ear rot in maize. *Front. Plant Sci*. 2017. 8. P. 1774.
156. Septiani P., Lanubile A., Stagnati L., Busconi M., Nelissen H., Pe M.E., Dell'Acqua M., Marocco A. Unravelling the genetic basis of fusarium seedling rot resistance in the magic maize population: Novel targets for breeding. *Sci. Rep.* 2019. №9. P. 5665.
157. Трибель С., Стригун О. Ризики для кукурудзи. *Агробізнес сьогодні*. 2012. № 3 (226). С. 22–23.
158. Ткачова С. Кукурудза та захист посівів від шкідників. *Агробізнес сьогодні*. 2013. № 5. С. 30–36.
159. Грабовський М.Б. Гібриди кукурудзи. *Агробізнес сьогодні*. 2011. №4 (203). С. 12–20.
160. Rudska N. O. Influence of the protection system on limitation of the number of main pests in corn crops. *Agriculture and forestry*. 2022. № 4 (27). P. 143–165.
161. Трибель С. О., Гетьман М. В., Бахмут О. О. Захист кукурудзи від шкідників. *Агроном*. 2010. № 2(28). С. 58–62.
162. Papiernik S. K., Sappington T. W., Luttrell R. G., Hesler L. S., Allen K. C. Overview: risk factors and historic levels of pressure from insect pests of seedling corn,

cotton, soybean, and wheat in the United States. *Journal of Integrated Pest Management*. 2018. №9 (1). 18.

163. Mendes F. Q., Oliveira M.G. A., Costa N.M. B., Passos F. R., Rosa J. C., Guedes R.N. C., De Oliveira J. A. Evaluation of the protein quality of beans, corn, and wheat grains infested by insect pests. *Bol. Cent. Pesqui. Process. Aliment.* 2016. 34. P. 1–14.

164. Stathas I. G., Sakellaridis A. C., Papadelli M., Kapolos J., Papadimitriou K., Stathas G. J. The effects of insect infestation on stored agricultural products and the quality of food. *Foods*. 2023. 12. P. 2046.

165. Петренкова В., Красиловець Ю., Попов С., Авраменко С., Чорнобай Л. Що загрожує кукурудзі цього року. *Agroexpert: практичний посібник аграрія*. 2012. № 7 (48). С. 38–41.

166. Грабовський М.Б. Інкрустація кукурудзи в цифрах. *The Ukrainian Farmer*, грудень 2012. С.46–48.

167. Гудзь В. П. Землеробство. К.: Центр учбової літератури, 2010. 464 с.

168. Волощук О. П., Волощук І. С., Глива В. В., Пашак М. О. Біологічні вимоги гібридів кукурудзи до умов вирощування в Західному Лісостепу. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2019. Вип. 65. С. 22–36.

169. Асанішвілі Н. М. Оптимізація мінерального живлення гібридів кукурудзи на основі рослинної діагностики. *Рослинництво та ґрунтознавство*. 2020. Том 11. № 3. С. 22–32.

170. Spalevic V. Assessment of soil erosion processes by using the 'IntErO model: Case study of the Duboki Potok, Montenegro. *J. Environ. Prot. Ecol.* 2019. №20. P. 657–665.

171. Nikolic G., Spalevic V., Curovic M., Darvishan K. A., Skataric G., Pajic M., Kavian A., Tanaskovik V. Variability of soil erosion intensity due to vegetation cover changes: case study of orahovacka rijeka, montenegro. *Not. Bot. Horti Agrobi.* 2019. №47. P. 237–248.

172. Drazic M., Gligorevic K., Pajic M., Zlatanovic I., Spalevic V., Sestras P., Skataric G., Dudic B. The influence of the application technique and amount of liquid

starter fertilizer on corn yield. *Agriculture*. 2020. 10. 347 (p. 1–13).

173. Grabovskyi M., Kucheruk P., Pavlichenko K., Roubík H. Influence of macronutrients and micronutrients on maize hybrids for biogas production. *Environmental Science and Pollution Research*. 2023. 30. 70022–70038. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27235-3>

174. Грабовський М.Б., Вахній С.П., Лозінський М.В., Панченко Т.В., Басюк П.Л. Зернова продуктивність гібридів кукурудзи залежно від застосування комплексних мінеральних добрив. *Агробіологія*. 2021. №2. С. 33–42.

175. Gellings C. W., Parmenter K. E. Energy efficiency in fertilizer production and use. *Efficient Use and Conservation of Energy*. Oxford, 2004. P. 121–136.

176. Надь Я. Кукурудза. Вінниця: ФОП Корзун Д.Ю., 2012. 580 с.

177. Паламарчук В. Д. Вплив позакореневих підживлень на стійкість гібридів кукурудзи до вилягання. *Сільське господарство та лісівництво*. 2018. № 1 (8). С. 14–25.

178. Мілютенко Т. Б. Удобрення кукурудзи на зерно при вирощуванні на дерново-підзолистому ґрунті. *Наукові праці інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2014. Вип. 21. С. 39–43.

179. Глива В. В., Гадзало А. Я., Герешко Г. С., Случак О. М., Пащак М. О. Якість зерна гібридів кукурудзи різних груп стиглості залежно від норм внесення мінеральних добрив. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2022. Вип. 71 (1). С. 66–79.

180. Doerge T. Fitting soil elektrikal conductivity measurements into the precision farming toolbox. *Presented at the 2001 Wisconsin Fertilizer, Aglime and Pest Management Conference*. Madison, 2001. P. 16–18.

181. Hao X., Chang C. H. Does long-term heavy cattle manure application increase salinity of a clay loam soil in semi-arid southern Alberta. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2003. Vol. 94. P. 89–103.

182. Palamarchuk V., Honcharuk I., Honcharuk T., Telekalo N. Effect of the elements of corn cultivation technology on bioethanol production under conditions of the

right-bank forest-steppe of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2018. Vol. 8, Issue 3. P. 42–50.

183. Palamarchuk V., Krychkovskiy V., Honcharuk I., Telekalo N. The modeling of the production process of high-starch corn hybrids of different maturity groups. *European Journal of Sustainable Development*. 2021. Vol. 1, № 10. P. 584–598.

184. Мельник А. І. Агрохімічний стан ґрунтів та застосування добрив у Чернігівській області: інформаційно-аналітичний довідник. Чернігів, 2012. 92 с.

185. Павліченко К.В., Грабовський М.Б. Урожайність зеленої і сухої маси гібридів кукурудзи та вихід біогазу залежно від застосування макро- і мікродобрив. *Зрошуване землеробство*. 2022. Вип. 77. С. 79-85.

186. Мельник С. І., Новічков О. В., Полупан В. М., Левенко М. Г. Підвищення ефективності внесення органічних добрив. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2017. № 5 (69). URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovid/article/view/9493>.

187. Бикін А. В., Тарасенко О. В. Вологозабезпечення рослин кукурудзи за внесення мінеральних добрив і прямої сівби. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2014. Вип. 22. С. 133–137.

188. Грабовський М.Б., Грабовська Т.О., Городецький О.С., Курило В.Л. Формування продуктивності кукурудзи на силос залежно від фону мінерального живлення. *Зрошуване землеробство*. 2019. Вип. 71. С. 37–40. DOI: <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2019.71.8>

189. Quinn J. D., Lee D. C., Poffenberger J. H. Corn yield response to sub-surface banded starter fertilizer in the USA meta-analysis. *Field Crop Res*. 2020. 254 p.

190. Грабовський М.Б. Урожайність кукурудзи на силос залежно від рівня мінерального живлення в умовах Центрального Лісостепу України. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України*. 2014. №7. С.49–53.

191. Chen Y., Xiao C., Wu D., Xia T., Chen Q., Chen F., et al. (2015). Effects of nitrogen application rate on grain yield and grain nitrogen concentration in two maize hybrids with contrasting nitrogen remobilization efficiency. *Eur. J. Agron*. 2015. 62. P. 79–89. DOI: 10.1016/j.eja.2014.09.008.

192. Yue K, Li L, Xie J, Liu Y, Xie J, Anwar S and Fudjoe S. K. Nitrogen supply affects yield and grain filling of maize by regulating starch metabolizing enzyme activities and endogenous hormone contents. *Front. Plant Sci.* 2022. 12. 798119. DOI: 10.3389/fpls.2021.798119.
193. Dogan Y., Togay N., & Togay Y. Determining Irrigation Scheduling and Different Manure Sources Of Yield And Nutrition Content On Maize (*Zea mays* L.) cultivation. *Applied Ecology and Environmental Research.* 2019. 17(2). P. 1559–1570. DOI:10.24180/ijaws.775195.
194. Cokkızgın A., Gırgel U., Kara Z., Colkesen M., Saltalı, K., & Yururdurmaz C. The effect of organic fertilizers on the yield components of corn plant, protein and starch content of grain. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi.* 2022. 26 (2). P. 133–142. DOI: 10.29050/harranziraat.991284.
195. Лихочвор В. В., Проць Р. Р. Кукурудза. Л.: Українські технології, 2002. 46 с.
196. Вожегова Р. А., Лавриненко О. Ю., Гож О. А. Продуктивність гібридів кукурудзи залежно від стимуляторів росту та мікродобрив в умовах зрошення. *Вісник аграрної науки.* 2016. № 7. С. 17–21.
197. Грабовський М. Б. Ефективність застосування мінеральних добрив у одновидових та сумісних посівах сорго цукрового та кукурудзи. *Техніка і технології АПК.* 2018. № 8–9 (107). С. 21–24.
198. Паламарчук В. Д., Демчук Б. С. Роль позакореневих підживлень у сучасних технологіях вирощування зернової кукурудзи. *Сільське господарство та лісівництво.* 2021. № 20. С. 60–76.
199. Шевченко Л. А., Чмель О. П., Хоменко С. В. Вплив мікродобрив та ріст регуляторів на продуктивність гібридів кукурудзи в умовах Півночі України. *Аграрні інновації.* 2020. № 4. С. 73–78.
200. Господаренко Г. М. Система застосування добрив: навчальний посібник. Київ: ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2015. 332 с.
201. Діденко Н. О., Ранський А. П. Вплив комплексних сполук купруму (II), кобальту (II) та цинку з ароматичними і гетероциклічними тіоамідами на посівні

властивості деяких сільськогосподарських культур. *Вісник Полтавської державної сільськогосподарської академії*. 2018. № 2. С. 17–23.

202. Захарченко Е. А. Ефективність застосування цинку при вирощуванні кукурудзи на зерно. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. Серія Агронімія та біологія. 2019. Вип. 4 (38). С. 8–14.

203. Паламарчук В. Д. Вплив позакореневих підживлень на прояв лінійних розмірів рослин кукурудзи. *Науковий вісник НУБіП України*. 2018. № 286. С. 231–244.

204. Паламарчук В. Д., Соломон А. М. Дослідження формування площі асиміляційної поверхні у кукурудзи залежно від позакореневих підживлень. *Корми і кормовиробництво*. 2021. Вип. 92. С. 82–94.

205. Циков В. С., Дудка М. І., Шевченко О. М., Носов С. С. Ефективність застосування макро- і мікродобрив при вирощуванні кукурудзи. *Зернові культури*. 2017. Т. 1. № 1. С. 75–79.

206. Молдован Ж. А., Собчук С. І. Оцінка показників індивідуальної продуктивності рослин кукурудзи за допосівної обробки насіння та позакореневого підживлення. *Зернові культури*. 2018. Т. 2. № 1. С. 101–108.

207. Грабовський М. Б., Федорук Ю. В., Правдива Л. А., Грабовська Т.О. Вплив рівня мінерального живлення на ріст, розвиток та водоспоживання рослин сорго цукрового та кукурудзи в одновидових та сумісних посівах. *Таврійський науковий вісник*. 2018. Вип. 103. С.27–35.

208. Грабовський М.Б., Грабовська Т.О., Ященко С.А. Застосування препарату Ентеронормін у посівах кукурудзи. *АгроТерра*. 2020. № 1(8). С. 49-56..

209. Prymak I., Fedoruk Y., Grabovskyi M., Lozinskyi M., Lozinska T., Prysiazhniuk N., Pokotylo I., Fedoruk N., Panchenko I., Panchenko T. Productivity, economic and energy efficiency of short crop rotation under different systems of basic tillage and fertilization in the right bank forest steppe of Ukraine. *Scientific Papers. Series "Management, Economic Engineering in Agriculture and rural development"*. 2022. Vol. 22. Issue 4. P. 617–626.

210. Калетнік Г. М. Біопаливо. Продовольча, енергетична та екологічна безпека України: Монографія. К: «Хай-Тек Прес», 2010. 516 с.
211. Блюм Я. Б., Гелету́ха Г. Г., Григорюк І. П. та ін. Біологічні ресурси і технології виробництва біопалива: Монографія. К.: «Аграр Медіа Груп», 2010. 408 с.
212. Rodionova M. V., Poudyal R. S., Tiwari I., Voloshin R. A., Zharmukhamedov S. K., Nam H. G., Allakhverdiev S. I. Biofuel production: challenges and opportunities. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2017. №42(12). P. 8450-8461.
213. Колосов О. Є., Рябцев Г. Л., Сівецький В. І., Сідоров Д. Е., Пристайлов С. О. Високоєфективні засоби приготування біопалива: монографія. К.: Січкара, 2010. 152 с.
214. Alaswad A., Dassisti M., Prescott T., Olabi A. G. Technologies and developments of third generation biofuel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015. №51. P. 1446–1460.
215. Гелету́ха Г., Драгнєв С., Железна Т., Карампініс М., Брюнер Т. Енергія з решток кукурудзи. Біоенергетична асоціація України (UABIO) та Центр досліджень і технологій Еллади (CERTH). Посібник. 2020. 48 с.
216. Гелету́ха Г. Г., Драгнєв С. В., Железна Т. А., Баштовий А. І. Аналіз виробництва пелет та брикетів з побічної продукції кукурудзи на зерно. Аналітична записка UABIO № 23. 2020. 42 с.
217. Камінський В. Ф., Асанішвілі Н. М. Формування якості зерна кукурудзи різних напрямів використання залежно від технології вирощування в Лісостепу. *Корми і кормовиробництво*. 2020. Вип. 89. С. 74–84.
218. Gumienna M., Szwengiel A., Lasik M., Szambelan K., Majchrzycki D., Adamczyk J., Czarnecki Z. Effect of corn grain variety on the bioethanol production efficiency. *Fuel*. 2016. №164. P. 386–392.
219. Калетнік Г. Н., Пришляк В. М. Біопалива і ефективність їх виробництва та споживання в АПК України: навчальний посібник. Київ: Аграрна наука, 2010. 327 с.
220. Kim W., Johnson J., Graybosch R., Gaines C. Physicochemical properties and

end-use quality of wheat starch as a function of waxy protein alleles. *J. Cereal Sci.* 2003. 37. P. 195–204.

221. Guan I., Seib P., Shi Y. Morphology changes in waxy wheat, normal wheat and waxy maize starch granules in relation to their pasting properties. In: Abstracts. Annual Meet., AACCC. *Cereal Foods World*. 2007. 52(4). P. 19.

222. Bušić A., Marđetko N., Kundas S., Morzak G., Belskaya H., Ivančić Šantek M., Šantek B. Bioethanol production from renewable raw materials and its separation and purification: a review. *Food technology and biotechnology*. 2018. №56(3). P. 289–311.

223. Шиян П. Л., Сосницький В. В., Олійнічук С. Т. Інноваційні технології спиртової промисловості. Теорія і практика: Монографія. К.: Видавничий дім «Асканія», 2009. 424 с

224. Duque A., Álvarez C., Doménech P., Manzanares P., Moreno A. D. Advanced bioethanol production: From novel raw materials to integrated biorefineries. *Processes*. 2021. №9(2). 206.

225. Гур'єв В. Добір гібридів кукурудзи для використання зерна на біопаливо. *Пропозиція*. 2008. № 5. С. 46–51.

226. Бурлака С. А., Гуменюк Ю. В., Єленич А. П. Перспективи виробництва біопалива на основі зернових культур. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Економічні науки*. 2019. № 6. Том 1. С. 28–31.

227. Бабич І. М., Бойко П. М., Бондар М. В. Технологічні та економічні аспекти виробництва спирту етилового різного цільового призначення. *Наукові праці «Одеська національна академія харчових технологій»*. 2021. Випуск 2. Том 85. С. 77–83.

228. Олійнічук С. Т., Данілова К. О., Коваль О. О. Ферментативний гідроліз крохмале- і целюлозовмісної сировини до зброджуваних цукрів у виробництві біоетанолу. *Продовольчі ресурси*. 2019. № 13. С. 121–130.

229. Паламарчук В. Д., Телекало Н. В. Перспективи вирощування кукурудзи на зерно для отримання біоетанолу. *Сільське господарство та лісівництво*. 2021. №2 (21). С. 47–61.

230. 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.

231. Akter S., Zabed H. M., Sahu J. N., Chowdhury F. I., Faruq G., Boyce A. N., Qi X. Bioethanol production from water-soluble and structural carbohydrates of normal and high sugary corn stovers harvested at three growth stages. *Energy Conversion and Management*. 2020. №221. 113104.

232. Chen X. et al. Modern maize hybrids in Northeast China exhibit increased yield potential and resource use efficiency despite adverse climate change. *Global Change Biol.* 2013. Issue 19. P. 923–936.

233. Kheybari S., Javdanmehr M., Rezaie F. M., Rezaei J. Corn cultivation location selection for bioethanol production: An application of BWM and extended PROMETHEE II. *Energy*. 2021. №228, 120593.

Розділ 2

234. Волкодав В. В. Методика державного сорто випробування сільськогосподарських культур (зернові, круп'яні та зернобобові). К.: 2001. 64 с.

235. Лебідь Є. М., Циков В. С., Пащенко Ю. М. [та ін.]. Методика проведення польових дослідів з кукурудзою. Дніпропетровськ, 2008. 27 с.

236. Ушкаренко В. О., Нікіщенко В. Л., Голобородько С. П., Коковіхін С. В. Дисперсійний і кореляційний аналіз результатів польових дослідів: монографія. Херсон: Айлант, 2009. 372 с.

237. Методичні рекомендації з розрахунку виходу біогазу та біоетанолу з біоенергетичних культур / Грабовський М. Б., Вахній С. П., Хахула В. С., Федорук Ю. В., Правдива Л. А., Панченко Т. В., Остренко М. В., Козак Л. А., Городецький О. С. Біла Церква. 2021. 28 с.

238. Ушкаренко В. О., Вожегова Р. А., Голобородько С. П., Коковіхін С. В. Методика польового дослідів (Зрошуване землеробство). Херсон: Грін Д. С., 2014. 448 с.

239. Методика проведення експертизи та державного випробування сортів рослин зернових, круп'яних та зернобобових культур / Міністерство аграрної політики України, Державна комісія України по випробуванню та

охороні сортів рослин. *Охорона прав на сорти рослин: офіційний бюлетень*. 2003. Вип. 2, ч. 3. 241 с.

240. Фурсова Г. К., Фурсов Д. І., Сергєєва В. В. Рослинництво: лабораторно-практичні заняття. *Зернові культури: навчальний посібник*. Харків: ТО «Ексклюзив», 2004. Ч. 1. 380 с.

241. Літун П. П. та ін. Системний аналіз в селекції польових культур: навч. посіб. Ін-т рослинництва імені В. Я. Юр'єва УААН. Харків, 2009. 354 с.

242. Федорчук М. І., Федорчук В. Г., Коваленко О. А., Ткачова Є. С. та Рожок О. Ф. Практикум з фізіології рослин: навчальний посібник. Миколаїв: МНАУ. 2020. 200 с.

243. ДСТУ 4863:2007. Сировина крохмалевмісна для спиртового виробництва. Правила приймання та методи відбирання проб.

244. ДСТУ 4865:2007. Цукор. Метод визначання крохмалю.

245. ДСТУ 4117:2007 Зерно та продукти його переробки.

246. ДСТУ 8076:2015. Продукти білкові рослинного походження. Макухи та шроти. Визначення вмісту розчинного протеїну титрометричним методом К'ельдаля.

247. Авраменко С., Цехмейструк М., Глибокий О. [та ін.]. Біологічна урожайність просапних культур. *Agroexpert: практичний посібник аграрія*. 2011. № 7 (36). С. 22–24.

248. Блюм Я. Б., Гелетуша Г. Г., Григорюк І. П., Дубровін В. О., Ємець А. І., Забарний Г. М., Калетнік Г. М., Мельничук М. Д., Мироненко В. Г., Рахметов Д. Б., Циганков С. П. Новітні технології біоенергоконверсії: Монографія. К.: «Аграр Медіа Груп», 2010. 326 с.

249. Формування нормативних витрат і доходів та баланси сільськогосподарської продукції в Україні та інших країнах світу / За ред. О. М. Шпичака. К.: ІАЕ, 2003. 484 с.

250. Бойко В. І., Лебідь Є. М., Рибка В. С. [та ін.]. Економіка виробництва зерна (з основами організації і технології виробництва): монографія / За ред. В. І. Бойка. К.: ННЦ ІАЕ, 2008. 400 с.

251. Ушкаренко В. О. та ін. Статистичний аналіз результатів польових дослідів у землеробстві. Херсон: Айлант, 2013. 378 с.

Розділ 3

252. Лавриненко Ю. О., Вожегова Р. А., Коковіхін С. В. та ін. Кукурудза на зрошуваних землях півдня України: монографія. Херсон: Айлант, 2011. 468 с.

253. 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 НУС*. 2020. Вип. 96. Ч. 1. С. 635–651.

254. Kovalenko O. A., Palamarchuk V. D., Krychkovskiy V. Y. Erbe der europäischen wissenschaft wirtschaft, management, erziehungswissenschaften, psychologie, landwirtschaft, kunstgeschichte heritage of european science economics, management, education, psychology, agriculture, art history. «Maize as a source of starch and bioethanol: conditions and cultivation elements. *Monographic series «European Science»*. Karlsruhe 2022. Book 9. Part 2. P. 95–119.

255. Грабовська Т. О., Грабовський М. Б. Морфобіологічні показники рослин кукурудзи, відібраних на осматичних розчинах сахарози. *Вісник Білоцерківського державного аграрного університету*. 2009. Вип. 59. С. 73–77.

256. Воскобойник О. В., Олізько О. П., Грабовський М. Б., Грабовська Т. О. Динаміка зміни біометричних показників ліній кукурудзи залежно від строків сівби. *Вісник Білоцерківського державного аграрного університету*. 2009. Вип. 59. С. 90–94.

257. 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. Сільськогосподарські науки*. 2019. Вип. 110. Ч. 1. С. 3–13.

258. Павліченко К.В., Грабовський М.Б. Формування біометричних показників та накопичення сирої надземної маси гібридами кукурудзи під впливом макро- і мікродобрив. *Таврійський науковий вісник*. 2022. №123. С. 98–111.

259. Паламарчук В. Д., Поліщук І. С., Каленська С. М., Єрмакова Л. М.

Біологія та екологія сільськогосподарських рослин: Підручник. Вінниця, 2013. 636 с.

260. Степаненко М. В., Грабовський М. Б. Вплив способів сівби на формування маси 1000 зерен у гібридів кукурудзи. *Таврійський науковий вісник*. 2023. № 133. С. 159–165. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.133.21>.

261. Степаненко М. В., Грабовський М. Б. Вплив способів сівби на тривалість окремих міжфазних періодів та вегетаційного періоду кукурудзи. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: «Аграрія і біологія»*. 2023. Вип. 3 (53). С. 85–90. DOI: <https://doi.org/10.32782/agrobio.2023.3.12>.

262. Качан Л. М., Степаненко М. В. Формування біометричних показників кукурудзи залежно від способу сівби. Матеріали V Всеукраїнської наукової інтернет-конференції «Інноваційні технології в рослинництві», м. Кам'янець-Подільський, 25 травня 2022 р., С. 65–66.

Розділ 4

263. Минкін М. В., Берднікова О. Г., Минкіна Г. О. Формування продуктивності кукурудзи на зерно залежно від живлення та густоти стояння в умовах Півдня України. *Таврійський науковий вісник*. 2019. № 106. С. 103–109.

264. Іванишин О. С. Площа асиміляційної поверхні листків та урожайність гібридів кукурудзи залежно від удобрення в умовах Лісостепу Західного. *Таврійський науковий вісник*. 2020. № 112. С. 77–81.

265. Марченко Т. Ю., Лавриненко Ю. О., Пілярська О. О., Забара П. П., Хоменко Т. М., Михаленко І. В., Іванів М. О. Динаміка накопичення сирової та сухої біомаси гібридами кукурудзи для краплинного зрошення. *Зрошуване землеробство: збірник наукових праць*. 2019. Вип 71. С. 108-113.

266. Черчель В., Дзюбецький В., Марочко В. Адаптивні властивості кукурудзи. *Пропозиція*. 2014. №3. С. 76–80.

267. 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>

268. Степаненко М. В. Формування площі листової поверхні кукурудзи

залежно від системи удобрення. *Зернові культури*. 2023. Том 7. № 2. С. 300–306. DOI: <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0290>.

269. Степаненко М. В. Вплив азотного добрива, мікродобрив та регуляторів росту на ріст і розвиток рослин кукурудзи. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції *«Інноваційні технології в агрономії, землеустрої, електроенергетиці, лісовому та садово-парковому господарстві»*, м. Біла Церква, 21 жовтня 2021 року, С. 6–7.

270. Степаненко М. В., Грабовський М. Б., Козак Л. А. Вплив азотного добрива та мікродобрив на площу листкової поверхні та фотосинтетичний потенціал посівів кукурудзи. Матеріали Міжнародної науково-практ. інтернет-конференції молодих учених і спеціалістів *«Вклад наукових інвестицій у розвиток агропромислового комплексу в умовах обмеженого ресурсного забезпечення та флуктуацій клімату»*, м. Дніпро, 16–17 березня 2023 р. С. 150–151.

271. Степаненко М. В., Грабовський М. Б. Зміна тривалості вегетаційного періоду та висоти рослин кукурудзи під впливом мінерального живлення. Збірник матеріалів II Міжнародної науково-практичної конференції *«Селекція агрокультур в умовах змін клімату: напрями та пріоритети»*, м. Одеса, 24 березня 2023 р. С. 257–259.

Розділ 5.

272. Дудка Т. В. Доцільність отримання біоетанолу із зерна кукурудзи. *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин*. 2012. №1. С. 44–47.

273. Степаненко М. В. Вплив способів сівби на вміст крохмалю та білку в зерні гібридів кукурудзи. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2023. Вип. 74–2. С. 107–115. DOI: 10.32636/01308521.2023-(74)-2-10.

274. Степаненко М. В., Грабовський М. Б., Качан Л. М., Козак Л. А. Вміст крохмалю в зерні кукурудзи залежно від способу сівби. Матеріали XII Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених *«Актуальні проблеми агропромислового виробництва України: виклики і шляхи розвитку в умовах війни і повоєнної відбудови»*, с. Оброшине, 23 листопада 2023 р., Львів-Оброшине, 2023. С. 114–115.

275. Грабовський М. Б., Степаненко М. В. Вихід біоетанолу та енергії у гібридів кукурудзи різних груп стиглості. *Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції «Селекція агрокультур в умовах змін клімату: напрями та пріоритети»*, м. Одеса 30 вересня 2022 р., С. 188–190.

276. Степаненко М. В., Грабовський М. Б., Козак Л. А., Качан Л. М. Вихід біоетанолу у гібридів кукурудзи залежно від технології вирощування. Застосування мікродобрів при вирощуванні кукурудзи на силос. *Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, присвяченої до Дня науки в Україні «Формування інноваційних агротехнологій в умовах змін клімату для забезпечення сталого розвитку агропромислового комплексу України»*, м. Одеса, 18–19 травня 2023 р., С. 73–76.

Розділ 6

277. Компанієць В. О., Желязков О. І., Кулик А. О. Методика енергетичної оцінки ефективності технологій виробництва зерна. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України*. 2014. №6. С. 118–124.

278. Грабовський М. Б., Павліченко К. В., Козак Л. А., Качан Л. М. Енергетична ефективність вирощування гібридів кукурудзи для виробництва біогазу за використання макро- і мікродобрів. *Зернові культури*. 2022. №1. С. 100–107.

279. Паламарчук В. Д. Економічна оцінка гібридів кукурудзи залежно від позакореневих підживлень. *Сільське господарство та лісівництво*. 2019. № 1 (12). С. 18–27. DOI: 10.37128/2707-5826-2019-1-2

280. Логоша Р. В., Паламарчук В. Д., Кричковський В. Ю. Економічна та біоенергетична ефективність використання дигестату біогазових станцій при вирощуванні сільськогосподарських та овочевих культур в умовах євроінтеграції України. *Бізнес Інформ*. 2022. № 9. С. 40–52.

281. Вожегова Р. А., Влащук А. М., Дробіт О. С. Економічна ефективність вирощування гібридів кукурудзи в умовах зрошення Південного Степу України. *Вісник Львівського національного аграрного університету*. 2018. Вип. № 22 (1). С. 253–259.

282. Потапов А.В., Грабовський М.Б. Економічна та енергетична ефективність застосування фунгіцидів та мікродобрив за вирощування гібридів буряків цукрових. *Агробіологія*. 2023. №1. С. 42–51.

283. Грабовський М.Б. Економічна та біоенергетична ефективність вирощування сорго цукрового та кукурудзи як біоенергетичних культур за різного рівня мінерального живлення. *Зернові культури*. 2018. Том 2. № 2. С. 294–300.

284. Малік М. Й. Методичні підходи до організації маркетингу інновацій наукоємного ринку агропромислового виробництва. *Економіка АПК*. 2005. Вип. № 8. С. 22–26.

285. Лавриненко Ю. О., Коковіхін С. В., Найдьонов В. Г. Біоенергетична оцінка технології вирощування кукурудзи на зерно залежно від гібридного складу та режиму зрошення. *Таврійський науковий вісник*. 2008. Вип. № 56. С. 11–20.

286. Коковіхін С. В., Міхаленко І. В., Лавриненко Ю. О. та ін. Використання результатів статистичної обробки експериментальних даних в прогнозуванні економічної ефективності виробництва кукурудзи при зрошенні. *Таврійський науковий вісник*. 2007. Вип. № 48. С. 282–290.

287. Лавриненко Ю. О., Коковіхін С. В., Писаренко П. В. Оцінка статистичних зв'язків продуктивності різних за групами ФАО гібридів кукурудзи з теплоенергетичними показниками в умовах зрошення. *Таврійський науковий вісник*. 2009. Вип. № 65. С. 7–18.

288. Тараріко Ю. О. Системи біоенергетичного аграрного виробництва. К.: ДІА, 2009. 16 с

289. Степаненко М. В. Економічна оцінка вирощування кукурудзи на біоетанол залежно від системи удобрення. *Таврійський науковий вісник*. 2023. № 134. С. 158–164. DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.134.20>

ДОДАТКИ

Характеристика метеорологічних умов за 2021–2023 рр.
(за даними Білоцерківської метеостанції)

Місяць	Декада	Середньомісячна температура повітря, °С				Опади, мм			
		2021 р.	2022 р.	2023 р.	Середньо-багаторічна	2021 р.	2022 р.	2023 р.	Середньо-багаторічна
Квітень	I	5,9	7,0	7,2	7,3	8,6	14,0	61,5	9,6
	II	8,1	6,5	8,9	7,3	13,5	7,2	27,4	18,1
	III	8,3	10,8	10,0	10,6	6,8	18,6	7,1	19,3
	За місяць	7,4	8,1	8,7	8,4	28,9	39,8	96,0	47,0
Травень	I	12,0	12,8	10,6	12,9	24,9	0,0	5,2	13,3
	II	14,5	14,9	16,0	16,0	26,5	2,7	2,3	13,5
	III	15,4	15,6	17,4	15,8	47,9	32,4	7,9	19,2
	За місяць	14,0	14,4	14,7	14,9	99,3	35,1	15,4	46,0
Червень	I	16,1	20,4	18,0	16,4	6,3	2,8	16,6	21,2
	II	20,0	20,6	19,0	16,5	28,3	1,2	1,8	21,7
	III	23,6	21,3	20,1	20,5	0,7	14,6	43,0	30,0
	За місяць	19,9	20,8	19,0	17,8	35,3	18,6	61,4	72,5
Липень	I	22,6	21,8	21,5	18,8	11,3	0,8	27,8	26,5
	II	24,6	17,6	20,4	18,5	30,0	24,1	32,6	21,3
	III	22,2	21,3	21,5	20,0	23,4	0,3	23,1	37,2
	За місяць	23,1	20,2	21,1	19,1	64,7	25,2	83,5	85,0
Серпень	I	21,4	19,9	21,0	18,5	20,4	34,6	5,0	21,5
	II	20,6	21,1	22,0	18,6	7,4	40,5	0,0	18,3
	III	18,0	22,0	23,5	18,2	28,2	0,0	4,0	20,2
	За місяць	20,0	21,0	22,2	18,4	56,0	75,1	9,0	60,0
Вересень	I	13,5	12,5	17,0	15,9	0,0	25,9	7,0	4,8
	II	15,5	12,9	17,8	14,1	1,5	39,2	17,0	4,4
	III	9,2	11,4	18,7	11,4	15,3	21,0	0,7	26,0
	За місяць	12,7	12,3	17,8	13,8	16,8	86,1	24,7	35,2
Жовтень	I	7,3	11,4	11,1	8,8	0,0	21,0	11,0	20,8
	II	7,1	8,4	9,8	8,2	0,0	0,7	21,0	11,5
	III	7,5	9,9	13,7	6,3	0,0	20,0	14,0	5,3
	За місяць	7,3	9,9	11,5	7,8	0,0	41,7	46,0	37,6
В цілому за вегетаційний період		14,9	15,2	16,4	14,3	301,0	321,6	336,0	383,3

Характеристика висоти рослин у гібридів кукурудзи залежно від фази розвитку та способів сівби, см
(середнє за 2021–2023 рр.)

Назва гібриду	Спосіб сівби	Висота рослин															
		7–8 листків				цвітіння волотей				молочна стиглість зерна				повна стиглість зерна			
		2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021–2023 рр.	2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021–2023 рр.	2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021–2023 рр.	2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021–2023 рр.
СИ Талісман (ФАО 200)	70 см (контроль)	42,3	39,4	41,3	41,0	218,5	203,4	215,3	212,4	223,4	207,8	220,6	217,3	224,0	208,6	221,2	217,5
	20,3×76,2 см	41,8	37,5	40,6	40,0	220,4	204,0	218,4	214,3	224,8	208,5	222,7	218,7	225,2	210,3	223,5	218,9
	20,3×91,4 см	40,6	36,2	40,0	38,9	221,5	205,4	218,8	215,2	226,0	210,0	224,1	220,0	226,4	211,3	225,2	220,4
	20,3×96,5 см	40,2	36,0	39,7	38,6	220,9	205,0	216,3	214,1	225,1	209,5	223,9	219,5	226,0	209,8	225,1	219,9
СИ Фотон (ФАО 260)	70 см (контроль)	45,8	42,0	45,4	44,4	223,2	207,5	221,5	217,4	228,0	212,0	224,5	221,5	228,7	212,8	225,4	221,8
	20,3×76,2 см	45,2	41,7	44,2	43,7	226,4	209,2	224,2	219,9	231,1	213,5	228,6	224,4	231,4	214,2	228,8	224,5
	20,3×91,4 см	43,1	40,3	43,5	42,3	228,1	210,4	226,1	221,5	232,8	215,0	230,4	226,1	233,1	215,6	231,6	226,5
	20,3×96,5 см	42,5	39,9	43,2	41,9	227,3	210,0	224,7	220,7	232,0	214,1	229,8	225,3	232,7	214,5	229,1	225,1
НК Термо (ФАО 330)	70 см (контроль)	49,3	47,1	48,2	48,2	230,0	214,2	228,4	224,2	234,7	218,6	233,8	229,0	235,1	219,2	233,5	228,9
	20,3×76,2 см	48,7	46,2	47,4	47,4	232,9	216,5	230,1	226,5	237,2	220,9	235,5	231,2	237,6	221,5	236,2	231,4
	20,3×91,4 см	47,2	44,8	46,5	46,2	234,0	218,5	232,0	228,2	238,4	223,0	238,9	233,4	238,7	223,4	237,9	233,1
	20,3×96,5 см	46,8	44,4	46,0	45,7	233,8	216,8	230,6	227,1	238,0	222,4	237,5	232,6	238,3	222,7	237,2	232,5
СИ Зефір (ФАО 430)	70 см (контроль)	55,4	53,2	53,1	53,9	238,5	219,1	235,2	230,9	243,1	223,1	237,9	234,7	243,6	223,5	238,1	234,8
	20,3×76,2 см	54,3	52,5	52,2	53,0	241,2	220,7	237,8	233,2	245,7	225,0	241,3	237,3	246,0	225,6	242,6	237,8
	20,3×91,4 см	52,4	51,2	51,0	51,5	243,3	223,7	238,5	235,2	246,5	227,8	245,2	239,8	246,7	228,1	245,5	239,9
	20,3×96,5 см	52,0	50,5	50,2	50,9	240,6	223,4	236,6	233,5	246,0	227,0	244,1	239,0	246,5	227,8	244,3	239,1
НІР ₀₅ , см	Фактор А	0,87	0,71	0,17	2,15	0,97	1,57	1,06	2,16	1,27	0,68	0,54	2,48	0,89	0,82	0,92	2,47
	Фактор В	0,84	0,87	0,88	0,96	1,17	0,90	1,17	0,58	1,05	1,14	0,99	0,59	0,99	1,02	0,97	0,60
	Взаємодія АВ	2,34	2,20	2,29	2,73	5,75	5,32	5,68	5,58	5,86	5,43	5,81	5,70	5,88	5,45	5,82	5,71

Висота кріплення качанів у гібридів кукурудзи залежно від способів сівби, см (середнє за 2021–2023 рр.)

Назва гібриду	Спосіб сівби	Роки досліджень			середнє за 2021–2023 рр.
		2021	2022	2023	
СИ Талісман (ФАО 200)	70 см (контроль)	67,5	60,7	64,4	64,2
	20,3×76,2 см	68,2	62,5	64,6	65,1
	20,3×91,4 см	70,4	62,8	68,1	67,1
	20,3×96,5 см	68,9	63,1	67,1	66,4
СИ Фотон (ФАО 260)	70 см (контроль)	72,8	65,2	69,9	69,3
	20,3×76,2 см	74,5	68,3	72,1	71,6
	20,3×91,4 см	77,2	70,1	75,1	74,1
	20,3×96,5 см	75,3	68,9	73,8	72,7
НК Термо (ФАО 330)	70 см (контроль)	95,6	86,4	94,4	92,1
	20,3×76,2 см	98,8	87,9	96,3	94,3
	20,3×91,4 см	102,2	90,1	100,2	97,5
	20,3×96,5 см	101,5	88,5	97,7	95,9
СИ Зефір (ФАО 430)	70 см (контроль)	118,3	110,6	115,6	114,8
	20,3×76,2 см	123,2	114,3	121,7	119,7
	20,3×91,4 см	125,4	118,6	124,4	122,8
	20,3×96,5 см	124,5	116,9	123,8	121,7
НІР ₀₅ , см	Фактор А	0,83	1,08	1,36	3,41
	Фактор В	1,02	0,79	0,99	0,59
	Взаємодія АВ	4,58	4,17	4,47	4,40

Динаміка площі листової поверхні у гібридів кукурудзи залежно від способів сівби, тис. м²/га (середнє за 2021–2023 рр.)

Назва гібриду	Спосіб сівби	Площа листової поверхні															
		7–8 листків				цвітіння волотей				молочна стиглість зерна				повна стиглість зерна			
		2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021–2023 рр.	2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021–2023 рр.	2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021–2023 рр.	2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021–2023 рр.
СИ Талісман (ФАО 200)	70 см (контроль)	8,10	7,84	7,58	7,84	35,60	31,60	33,40	33,53	33,20	29,30	31,50	31,33	29,60	26,00	28,10	27,90
	20,3×76,2 см	7,89	7,73	7,48	7,70	36,20	32,10	34,00	34,10	33,50	29,70	32,10	31,77	30,10	26,40	29,50	28,67
	20,3×91,4 см	7,90	7,75	7,50	7,72	36,80	33,00	34,50	34,77	34,50	30,80	33,20	32,83	30,80	27,40	30,20	29,47
	20,3×96,5 см	7,94	7,77	7,51	7,74	37,00	33,20	35,00	35,07	35,00	31,00	34,40	33,47	31,30	27,90	31,10	30,10
СИ Фотон (ФАО 260)	70 см (контроль)	8,14	7,91	7,63	7,89	36,60	32,60	34,20	34,47	34,30	30,40	33,20	32,63	32,00	27,00	31,20	30,07
	20,3×76,2 см	8,01	7,84	7,56	7,80	37,20	33,10	35,00	35,10	34,80	30,60	34,50	33,30	32,40	27,20	31,90	30,50
	20,3×91,4 см	8,06	7,83	7,52	7,80	38,60	34,20	36,10	36,30	36,50	31,70	35,20	34,47	33,00	28,00	32,50	31,17
	20,3×96,5 см	8,02	7,80	7,52	7,78	39,00	34,30	36,30	36,53	36,80	31,90	35,90	34,87	33,50	28,40	33,10	31,67
НК Термо (ФАО 330)	70 см (контроль)	8,20	8,03	7,72	7,98	39,50	35,40	37,20	37,37	37,30	33,10	36,70	35,70	34,10	30,50	33,70	32,77
	20,3×76,2 см	8,09	7,96	7,61	7,89	40,30	35,70	37,90	37,97	37,90	33,80	37,40	36,37	34,80	31,00	34,80	33,53
	20,3×91,4 см	8,06	7,94	7,60	7,87	41,80	36,90	39,20	39,30	39,60	34,60	38,30	37,50	36,00	32,40	35,50	34,63
	20,3×96,5 см	8,12	7,93	7,65	7,90	42,40	37,40	40,00	39,93	40,00	35,60	39,50	38,37	36,40	32,60	36,10	35,03
СИ Зефір (ФАО 430)	70 см (контроль)	8,32	8,12	7,80	8,08	41,50	37,80	38,70	39,33	39,30	35,20	38,70	37,73	35,40	32,40	34,80	34,20
	20,3×76,2 см	8,21	8,01	7,75	7,99	42,30	38,00	39,00	39,77	39,70	35,70	39,20	38,20	35,80	32,90	35,50	34,73
	20,3×91,4 см	8,21	8,06	7,70	7,99	44,50	39,70	41,90	42,03	42,30	37,20	42,10	40,53	38,40	33,90	37,80	36,70
	20,3×96,5 см	8,23	8,05	7,74	8,01	44,90	40,10	42,50	42,50	42,80	37,50	42,30	40,87	38,70	34,50	38,30	37,17
НІР ₀₅ , тис. м ² /га	Фактор А	0,16	0,16	0,07	0,05	0,61	0,43	0,71	0,49	0,70	0,61	0,56	0,86	0,93	0,35	0,78	1,12
	Фактор В	0,15	0,12	0,09	0,02	0,79	0,83	0,76	0,22	0,80	0,76	0,86	0,28	0,67	0,85	0,68	0,25
	Взаємодія АВ	0,20	0,19	0,19	0,19	0,99	0,88	0,93	0,93	0,95	0,83	0,91	0,89	0,85	0,75	0,83	0,81

**Фотосинтетичний потенціал посіву гібридів кукурудзи залежно від періоду вегетації та способів сівби, млн м²
діб/га (середнє за 2021–2023 рр.)**

Назва гібриду	Спосіб сівби	Фотосинтетичний потенціал посіву											
		7–8 листків – цвітіння волотей				цвітіння волотей – молочна стиглість зерна				7–8 листків – повна стиглість зерна			
		2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021-2023 рр.	2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021-2023 рр.	2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021-2023 рр.
СИ Талісман (ФАО 200)	70 см (контроль)	0,393	0,335	0,389	0,373	0,688	0,639	0,617	0,648	1,301	1,117	1,177	1,198
	20,3×76,2 см	0,397	0,339	0,394	0,376	0,697	0,649	0,628	0,658	1,311	1,126	1,220	1,219
	20,3×91,4 см	0,402	0,346	0,399	0,383	0,713	0,670	0,643	0,675	1,335	1,160	1,244	1,246
	20,3×96,5 см	0,404	0,348	0,404	0,386	0,720	0,674	0,659	0,684	1,354	1,177	1,274	1,268
СИ Фотон (ФАО 260)	70 см (контроль)	0,425	0,344	0,397	0,389	0,815	0,446	0,708	0,656	1,465	1,239	1,378	1,361
	20,3×76,2 см	0,429	0,348	0,404	0,394	0,828	0,450	0,730	0,669	1,475	1,244	1,401	1,373
	20,3×91,4 см	0,443	0,357	0,414	0,405	0,864	0,462	0,749	0,692	1,499	1,272	1,421	1,397
	20,3×96,5 см	0,447	0,358	0,416	0,407	0,872	0,463	0,758	0,698	1,515	1,285	1,442	1,414
НК Термо (ФАО 330)	70 см (контроль)	0,549	0,369	0,427	0,448	0,998	0,521	0,850	0,790	1,734	1,483	1,595	1,604
	20,3×76,2 см	0,556	0,371	0,432	0,453	1,017	0,524	0,866	0,802	1,758	1,500	1,633	1,630
	20,3×91,4 см	0,573	0,381	0,445	0,466	1,058	0,538	0,891	0,829	1,806	1,553	1,659	1,673
	20,3×96,5 см	0,581	0,385	0,453	0,473	1,071	0,544	0,914	0,843	1,825	1,560	1,684	1,690
СИ Зефір (ФАО 430)	70 см (контроль)	0,648	0,390	0,442	0,493	1,172	0,597	1,084	0,951	1,924	1,682	1,768	1,791
	20,3×76,2 см	0,657	0,391	0,444	0,497	1,189	0,598	1,095	0,961	1,936	1,698	1,795	1,810
	20,3×91,4 см	0,685	0,406	0,471	0,521	1,259	0,621	1,176	1,018	2,051	1,741	1,888	1,893
	20,3×96,5 см	0,691	0,409	0,477	0,526	1,272	0,626	1,187	1,028	2,065	1,766	1,911	1,914
НР ₀₅ , млн м ² діб/га	Фактор А	0,019	0,070	0,010	0,146	0,027	0,012	0,021	0,357	0,011	0,018	0,020	0,064
	Фактор В	0,012	0,050	0,005	0,003	0,018	0,011	0,016	0,011	0,021	0,014	0,017	0,010
	Взаємодія АВ	0,036	0,026	0,030	0,031	0,067	0,039	0,059	0,055	0,115	0,099	0,107	0,107

Чиста продуктивність фотосинтезу гібридів кукурудзи залежно від періоду вегетації та способів сівби, г/м² за добу (середнє за 2021–2023 рр.)

Назва гібриду	Спосіб сівби	Чиста продуктивність фотосинтезу											
		7–8 листків				цвітіння волотей				воскова стиглість зерна			
		2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021-2023 рр.	2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021-2023 рр.	2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021-2023 рр.
СИ Талісман (ФАО 200)	70 см (контроль)	6,549	5,858	6,487	6,298	9,291	8,367	8,687	8,782	5,632	5,365	5,433	5,476
	20,3×76,2 см	6,432	5,571	6,420	6,141	9,208	8,536	8,679	8,808	5,265	5,544	5,242	5,350
	20,3×91,4 см	6,306	6,698	6,926	6,643	9,396	8,442	8,667	8,835	5,565	5,515	5,550	5,543
	20,3×96,5 см	6,433	6,339	7,016	6,596	9,924	8,592	8,327	8,948	5,489	5,478	5,459	5,475
СИ Фотон (ФАО 260)	70 см (контроль)	6,275	6,599	7,127	6,667	9,522	9,331	8,989	9,280	5,596	6,522	5,785	5,968
	20,3×76,2 см	6,403	7,226	7,336	6,988	9,777	9,331	9,023	9,377	6,739	5,971	6,082	6,264
	20,3×91,4 см	6,775	7,418	7,106	7,100	9,859	9,422	9,033	9,438	6,782	6,312	6,458	6,517
	20,3×96,5 см	6,913	6,883	7,235	7,010	9,741	9,501	8,672	9,305	5,669	6,247	6,363	6,093
НК Термо (ФАО 330)	70 см (контроль)	6,778	7,697	7,541	7,339	10,818	9,348	9,038	9,735	6,838	6,069	6,389	6,432
	20,3×76,2 см	7,205	7,926	7,173	7,435	10,787	9,482	9,317	9,862	7,604	6,595	6,602	6,934
	20,3×91,4 см	6,296	8,484	7,276	7,352	11,432	9,545	9,316	10,098	7,961	6,674	6,853	7,163
	20,3×96,5 см	6,823	7,404	7,368	7,199	10,570	8,383	8,730	9,228	6,600	7,098	6,259	6,653
СИ Зефір (ФАО 430)	70 см (контроль)	6,683	8,173	7,642	7,499	12,766	9,233	9,462	10,487	5,454	6,872	6,067	6,131
	20,3×76,2 см	7,040	8,400	7,804	7,748	12,116	9,346	9,626	10,363	6,117	6,619	6,261	6,332
	20,3×91,4 см	7,690	8,539	7,873	8,034	13,773	9,548	9,435	10,919	7,044	6,746	6,492	6,761
	20,3×96,5 см	8,840	8,076	7,590	8,169	11,669	9,263	9,196	10,043	7,638	6,508	6,416	6,854
НР ₀₅ , г/м ² за добу	Фактор А	0,061	0,035	0,039	0,906	0,060	0,029	0,037	1,788	0,088	0,048	0,040	0,532
	Фактор В	0,047	0,056	0,033	0,344	0,052	0,028	0,033	0,261	0,038	0,026	0,030	0,354
	Взаємодія АВ	0,479	0,513	0,507	0,500	0,288	0,246	0,243	0,672	0,172	0,169	0,165	0,437

Структура врожаю кукурудзи залежно від біологічних особливостей гібридів та способів сівби (середнє за 2021–2023 рр.)

Назва гібриду	Спосіб сівби	Елементи структури врожаю															
		довжина качана, см				діаметр качана, см				маса зерна з качана за 14 % вологості, г				маса 1000 зерен, г			
		2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021-2023 рр.	2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021-2023 рр.	2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021-2023 рр.	2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021-2023 рр.
СИ Талісман (ФАО 200)	70 см (контроль)	16,7	16,4	16,5	16,5	4,2	4,0	4,1	4,1	113,5	100,3	107,6	107,1	224,0	208,6	220,7	217,8
	20,3×76,2 см	17,0	16,6	16,8	16,8	4,3	4,0	4,2	4,2	122,3	108,5	118,5	116,4	225,2	210,3	222,8	219,4
	20,3×91,4 см	17,4	16,9	16,9	17,1	4,4	4,2	4,3	4,3	134,5	126,1	130,1	130,2	226,4	211,3	224,5	220,7
	20,3×96,5 см	17,4	16,9	16,9	17,1	4,4	4,2	4,3	4,3	131,2	124,3	128,9	128,1	226,0	209,8	223,6	219,8
СИ Фотон (ФАО 260)	70 см (контроль)	17,0	16,7	16,8	16,8	4,4	4,2	4,3	4,3	132,1	118,3	130,7	127,0	228,7	212,8	225,9	222,5
	20,3×76,2 см	17,0	17,0	16,8	16,9	4,5	4,3	4,4	4,4	139,6	126,2	136,8	134,2	231,4	214,2	228,6	224,7
	20,3×91,4 см	17,6	17,2	17,3	17,4	4,6	4,4	4,5	4,5	152,6	135,0	139,5	142,4	233,1	215,6	231,5	226,7
	20,3×96,5 см	17,6	17,2	17,3	17,4	4,6	4,4	4,5	4,5	148,4	134,0	137,9	140,1	232,7	214,5	229,9	225,7
НК Термо (ФАО 330)	70 см (контроль)	17,4	17,3	17,4	17,4	4,6	4,4	4,6	4,5	152,3	132,1	147,6	144,0	235,1	219,2	230,4	228,2
	20,3×76,2 см	17,5	17,4	17,4	17,4	4,6	4,4	4,6	4,5	163,4	138,5	155,4	152,4	237,6	221,5	233,8	231,0
	20,3×91,4 см	18,0	17,6	17,9	17,8	4,8	4,5	4,7	4,7	177,0	145,0	162,7	161,6	238,7	223,4	235,6	232,6
	20,3×96,5 см	18,0	17,6	17,9	17,8	4,8	4,5	4,7	4,7	174,1	143,2	158,7	158,7	238,3	222,7	234,1	231,7
СИ Зефір (ФАО 430)	70 см (контроль)	18,0	17,5	17,9	17,8	4,9	4,6	4,8	4,8	163,6	138,5	159,4	153,8	243,6	223,5	239,9	235,7
	20,3×76,2 см	18,1	17,8	17,9	17,9	4,9	4,7	4,8	4,8	171,4	146,4	168,8	162,2	246,0	225,6	242,4	238,0
	20,3×91,4 см	18,5	18,1	18,3	18,3	5,1	4,8	4,9	4,9	178,9	156,7	173,5	169,7	246,7	228,1	244,5	239,8
	20,3×96,5 см	18,5	18,1	18,3	18,3	5,1	4,8	4,9	4,9	178,0	155,2	173,2	168,8	246,5	227,8	243,3	239,2
НІР ₀₅ ,	Фактор А	0,089	0,057	0,062	0,182	0,068	0,092	0,038	0,072	1,25	0,94	1,36	11,05	0,53	0,92	0,86	2,97
	Фактор В	0,126	0,116	0,109	0,075	0,105	0,101	0,120	0,024	1,85	1,26	1,28	2,06	1,03	1,09	1,11	0,44
	Взаємодія АВ	0,440	0,432	0,435	0,435	0,116	0,110	0,113	0,113	4,11	3,59	3,93	10,05	6,35	5,89	6,26	6,17

**Динаміка вегетаційного періоду та окремих його частин у гібриду кукурудзи СИ Зефір залежно від системи
удобрення, діб (середнє за 2021–2023 рр.)**

Назва гібриду	Система удобрення	Тривалість окремих періодів вегетацій																			
		«сівба–сходи»				«сходи–8 листків»				«8 листків–цвітіння волотей»				«цвітіння волотей–повна стиглість зерна»				«сходи–повня стиглість зерна»			
		2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021- 2023 рр.	2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021- 2023 рр.	2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021- 2023 рр.	2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021- 2023 рр.	2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021- 2023 рр.
СИ Зефір (ФАО 430)	Без внесення добрив (контроль)	7	11	9	9	40	37	38	38	26	23	28	26	62	60	61	61	128	120	127	125
	N ₄₀ перед сівбою	7	11	9	9	40	37	38	38	26	23	28	26	62	60	61	61	128	120	127	125
	N ₄₀ перед сівбою + Нутривант Плюс Кукурудза	7	11	9	9	41	38	39	39	27	24	29	27	62	60	61	61	130	122	129	127
	N ₄₀ перед сівбою + Вуксал Р Мах	7	11	9	9	41	38	39	39	27	24	29	27	62	60	61	61	130	122	129	127
	N ₄₀ перед сівбою + Розалік Zn, P, N, S	7	11	9	9	41	38	39	39	27	24	29	27	62	60	61	61	130	122	129	127

**Динаміка площі листової поверхні у гібриду кукурудзи СИ Зефір залежно від системи удобрення, тис. м²/га
(середнє за 2021–2023 рр.)**

Назва гібриду	Система удобрення	Фенологічна фаза розвитку рослин															
		7–8 листків				цвітіння волотей				молочна стиглість зерна				повна стиглість зерна			
		2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021-2023 рр.	2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021-2023 рр.	2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021-2023 рр.	2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021-2023 рр.
СИ Зефір (ФАО 430)	Без внесення добрив (контроль)	8,23	8,08	7,91	8,07	41,80	38,10	39,10	39,67	39,60	35,70	38,90	38,07	36,70	32,80	35,40	34,10
	N ₄₀ перед сівбою	8,27	8,15	7,98	8,13	42,90	40,00	41,10	41,33	40,90	37,60	39,70	39,40	38,00	34,00	37,30	35,65
	N ₄₀ перед сівбою + Нутривант Плюс Кукурудза	8,38	8,26	8,06	8,23	43,80	42,30	43,10	43,07	41,60	39,20	40,20	40,33	39,00	35,20	38,40	36,80
	N ₄₀ перед сівбою + Вуксал Р Мах	8,42	8,28	8,11	8,27	44,50	43,10	43,60	43,73	42,10	40,60	41,60	41,43	39,20	36,00	38,90	37,45
	N ₄₀ перед сівбою + Розалік Zn, P, N, S	8,40	8,21	8,09	8,23	43,60	42,50	43,00	43,03	42,00	40,10	41,30	41,13	39,00	35,70	38,80	37,25
НР ₀₅ , тис. м ² /га		0,13	0,23	0,21	0,03	1,71	1,61	1,84	1,13	1,84	1,97	1,72	1,10	2,33	1,85	1,68	0,49

**Фотосинтетичний потенціал посіву гібриду кукурудзи СИ Зефір залежно від системи удобрення, млн м² діб/га
(середнє за 2021–2023 рр.)**

Назва гібриду	Система удобрення	Періоди росту і розвитку рослин кукурудзи											
		«7–8 листків – цвітіння волотей»				«цвітіння волотей–молочна стиглість зерна»				«7–8 листків–повна стиглість зерна»			
		2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021–2023 рр.	2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021–2023 рр.	2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021–2023 рр.
СИ Зефір (ФАО 430)	Без внесення добрив (контроль)	0,650	0,531	0,668	0,617	1,180	1,107	1,088	1,125	1,977	1,901	1,927	1,935
	N ₄₀ перед сівбою	0,665	0,554	0,693	0,637	1,215	1,164	1,130	1,170	2,036	1,960	2,015	2,004
	N ₄₀ перед сівбою + Нутривант Плюс Кукурудза	0,704	0,607	0,744	0,685	1,281	1,263	1,209	1,251	2,132	2,064	2,091	2,096
	N ₄₀ перед сівбою + Вуксал Р Мах	0,714	0,617	0,754	0,695	1,299	1,297	1,235	1,277	2,143	2,103	2,115	2,121
	N ₄₀ перед сівбою + Розалік Zn, P, N, S	0,702	0,609	0,743	0,685	1,284	1,280	1,220	1,262	2,133	2,086	2,110	2,110
НІР ₀₅ , млн м ² діб/га		0,030	0,014	0,024	0,012	0,058	0,019	0,023	0,030	0,022	0,069	0,025	0,020

**Чиста продуктивність посіву гібриду кукурудзи СИ Зефір залежно від фази розвитку та системи удобрення, г/м²
за добу (середнє за 2021–2023 рр.)**

Назва гібриду	Система удобрення	Періоди росту і розвитку рослин кукурудзи											
		7–8 листків				цвітіння волотей				воскова стиглість зерна			
		2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021– 2023 рр.	2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021–2023 рр.	2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021– 2023 рр.
СИ Зефір (ФАО 430)	Без внесення добрив (контроль)	6,231	5,988	6,661	6,293	11,873	9,961	10,468	10,767	6,403	6,322	6,394	6,373
	N ₄₀ перед сівбою	6,628	6,036	6,706	6,456	12,429	10,093	10,487	11,003	6,317	5,986	6,252	6,185
	N ₄₀ перед сівбою + Нутривант Плюс Кукурудза	6,678	6,253	6,716	6,549	12,304	9,691	10,402	10,799	6,299	6,160	6,225	6,228
	N ₄₀ перед сівбою + Вуксал Р Мах	7,068	6,189	6,881	6,713	12,396	9,576	10,622	10,864	6,364	6,289	6,316	6,323
	N ₄₀ перед сівбою + Розалік Zn, P, N, S	6,667	6,252	6,893	6,604	12,231	9,466	10,366	10,688	6,199	5,991	6,135	6,109
НІР ₀₅ , г/м ² за добу		0,034	0,021	0,030	0,266	0,040	0,025	0,074	0,392	0,073	0,051	0,024	0,111

**Лінійні розміри рослин гібриду кукурудзи СИ Зефір залежно від фази росту і розвитку та системи удобрення, см
(середнє за 2021–2023 рр.)**

Назва гібриду	Система удобрення	Висота рослин відповідно до фенологічної фази розвитку рослин															
		7–8 листків				цвітіння волотей				молочна стиглість зерна				повна стиглість зерна			
		2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021–2023 рр.	2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021–2023 рр.	2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021–2023 рр.	2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021–2023 рр.
СИ Зефір (ФАО 430)	Без внесення добрив (контроль)	50,7	49,3	50,2	50,1	233,2	210,1	228,7	224,0	238,9	214,1	235,2	229,4	239,4	214,5	236,8	230,2
	N ₄₀ перед сівбою	54,8	53,4	53,5	53,9	237,2	218,4	232,4	229,3	242,7	223,6	237,5	234,6	243,1	224	239,2	235,4
	N ₄₀ перед сівбою + Нутривант Плюс Кукурудза	55,1	54	54,3	54,5	239,5	220,5	235,2	231,7	243,8	225,4	239,3	236,2	244,1	225,6	241,5	237,1
	N ₄₀ перед сівбою + Вуксал Р Мах	55	53,7	54,9	54,5	240,5	218,9	238,3	232,6	244,5	226,2	241,1	237,3	244,8	226,6	242,6	238,0
	N ₄₀ перед сівбою + Розалік Zn, P, N, S	54,6	54,2	53,9	54,2	238,7	222	237,6	232,8	243,2	227	240,1	236,8	243,7	228,3	241,5	237,8
НІР ₀₅ , см		2,18	1,92	2,06	0,66	3,65	2,94	2,78	2,96	2,87	3,31	2,72	3,60	2,40	2,01	2,46	3,80

Структура врожаю гібриду кукурудзи СИ Зефір залежно від системи удобрення, (середнє за 2021–2023 рр.)

Назва гібриду	Система удобрення	Елементи структури врожаю															
		довжина качана, см				діаметр качана, см				маса зерна з качана, г				маса 1000 зерен, г			
		2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021–2023 рр.	2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021–2023 рр.	2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021–2023 рр.	2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021–2023 рр.
СИ Зефір (ФАО 430)	Без внесення добрив (контроль)	18,0	17,8	17,8	17,9	4,8	4,6	4,7	4,7	154,6	139,7	147,6	147,3	248,5	229,5	237,8	238,6
	N ₄₀ перед сівбою	18,2	18,0	18,1	18,1	4,9	4,7	4,8	4,8	175,4	150,1	162,4	162,6	267,7	251,2	262,5	260,5
	N ₄₀ перед сівбою + Нутривант Плюс Кукурудза	18,3	18,1	18,2	18,2	5,0	4,8	4,9	4,9	185,7	161,3	173,9	173,6	273,5	255,7	266,4	265,2
	N ₄₀ перед сівбою + Вуксал Р Мах	18,4	18,1	18,4	18,3	5,2	4,8	5,0	5,0	188,6	165,4	180,5	178,2	274,5	257,6	270,7	267,6
	N ₄₀ перед сівбою + Розалік Zn, P, N, S	18,3	18,0	18,4	18,2	5,2	4,8	5,0	5,0	184,2	160,4	180,2	174,9	271,0	255,0	270,3	265,4
НІР ₀₅		0,20	0,35	0,27	0,16	0,20	0,21	0,21	0,10	4,15	3,10	2,65	5,45	2,84	2,28	2,60	3,63

**Якісні показники зерна кукурудзи залежно від біологічних особливостей гібридів
та способів сівби, % (середнє за 2021–2023 рр.)**

Назва гібриду	Спосіб сівби	Якісні показники зерна, %											
		вміст крохмалю у зерні				вміст сирого протеїну в зерні				вміст жиру в зерні			
		2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021–2023 рр.	2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021–2023 рр.	2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021–2023 рр.
СИ Талісман (ФАО 200)	70 см (контроль)	68,3	67,5	67,90	67,90	9,18	9,46	9,32	9,32	3,87	4,01	3,92	3,93
	20,3×76,2 см	68,3	67,8	67,90	68,00	9,18	9,33	9,25	9,25	3,95	4,11	4,01	4,02
	20,3×91,4 см	68,7	68,3	68,40	68,47	9,05	9,22	9,16	9,14	3,98	4,15	4,03	4,05
	20,3×96,5 см	68,5	68,0	68,30	68,27	9,06	9,23	9,17	9,15	3,89	4,20	4,04	4,04
СИ Фотон (ФАО 260)	70 см (контроль)	71,0	70,4	70,80	70,73	9,36	9,88	9,31	9,52	4,12	4,35	4,16	4,21
	20,3×76,2 см	71,2	70,8	71,00	71,00	9,32	9,81	9,27	9,47	4,25	4,20	4,21	4,22
	20,3×91,4 см	71,5	71,0	71,40	71,30	9,12	9,56	9,11	9,26	4,08	4,45	4,15	4,23
	20,3×96,5 см	71,4	70,9	71,40	71,23	9,24	9,74	9,16	9,38	4,15	4,36	4,12	4,21
НК Термо (ФАО 330)	70 см (контроль)	70,1	69,5	69,90	69,83	10,71	11,32	10,65	10,89	4,25	4,48	4,22	4,32
	20,3×76,2 см	70,2	69,8	70,00	70,00	10,64	11,28	10,61	10,84	4,36	4,56	4,30	4,41
	20,3×91,4 см	70,3	69,8	70,10	70,07	10,45	11,2	10,42	10,69	4,38	4,52	4,35	4,42
	20,3×96,5 см	70,8	70,0	70,60	70,47	10,36	10,98	10,35	10,56	4,15	4,78	4,13	4,35
СИ Зефір (ФАО 430)	70 см (контроль)	69,2	68,5	69,10	68,93	10,02	10,56	10,30	10,29	4,33	4,66	4,27	4,42
	20,3×76,2 см	69,4	68,7	69,30	69,13	9,89	10,35	9,85	10,03	4,20	4,50	4,19	4,30
	20,3×91,4 см	69,5	68,8	69,40	69,23	9,78	10,34	9,72	9,95	4,28	4,61	4,25	4,38
	20,3×96,5 см	69,7	69,1	69,50	69,43	9,39	10,08	9,40	9,62	4,36	4,72	4,31	4,46
НІР ₀₅ , %	Фактор А	0,603	1,145	1,020	0,190	0,306	0,164	0,106	0,355	0,043	0,225	0,085	0,159
	Фактор В	0,588	0,890	0,806	0,070	0,238	0,174	0,103	0,051	0,073	0,119	0,077	0,069
	Взаємодія АВ	0,699	1,386	1,394	0,696	0,290	0,304	0,291	0,492	0,083	0,221	0,083	0,127

Якісні показники зерна гібриду кукурудзи СИ Зефір залежно від системи удобрення, (середнє за 2021–2023 рр.)

Назва гібриду	Система удобрення	Якісні показники зерна, %											
		вміст крохмалю у зерні				вміст сирого протеїну в зерні				вміст жиру в зерні			
		2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021-2023 рр.	2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021-2023 рр.	2021 р.	2022 р.	2023 р.	середнє за 2021-2023 рр.
СИ Зефір (ФАО 430)	Без внесення добрив (контроль)	69,42	68,37	69,25	69,01	9,42	9,92	9,35	9,56	4,31	4,71	4,29	4,44
	N ₄₀ перед сівбою	69,24	68,34	69,11	68,90	9,89	10,03	9,76	9,89	4,12	4,34	4,10	4,19
	N ₄₀ перед сівбою + Нутривант Плюс Кукурудза	69,18	68,30	69,05	68,84	9,98	10,35	9,85	10,06	4,05	4,11	4,02	4,06
	N ₄₀ перед сівбою + Вуксал Р Мах	68,28	68,21	68,25	68,25	10,21	10,44	10,17	10,27	4,02	4,06	4,00	4,03
	N ₄₀ перед сівбою + Розалік Zn, P, N, S	69,13	68,26	68,69	68,69	10,07	10,40	10,08	10,18	4,01	4,21	4,00	4,07
НІР ₀₅ , %		0,815	0,273	0,171	0,416	0,135	0,172	0,170	0,158	0,103	0,154	0,191	0,157

**Залежність вмісту крохмалю від інших господарсько-цінних ознак у гібридів кукурудзи,
(дослід 1. «Спосіб сівби» за 2021–2023 рр.)**

№	Ознаки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Вміст крохмалю, %															
2	Тривалість періоду «сходи – повна стиглість», діб	0,091														
3	Висота рослин у фазі повної стиглості зерна, см	0,195	0,972													
4	Висота кріплення качанів, см	0,003	0,987	0,975												
5	Загальна площа листової поверхні у фазу цвітіння волотей, тис. м ² /га	0,133	0,931	0,974	0,951											
6	Фотосинтетичний потенціал у період «7-8 листків – повна стиглість зерна», млн м ² діб/га	0,157	0,988	0,990	0,983	0,972										
7	Чиста продуктивність фотосинтезу у фазу воскової стиглості зерна, г/м ² за добу	0,552	0,728	0,807	0,685	0,778	0,782									
8	Довжина качана, см	0,152	0,885	0,949	0,915	0,979	0,934	0,739								
9	Діаметр качана, см	0,230	0,933	0,978	0,943	0,971	0,965	0,761	0,975							
10	Маса зерна з качана, г	0,305	0,901	0,968	0,904	0,961	0,947	0,856	0,965	0,970						
11	Маса 1000 насінин, г	-0,190	0,972	0,998	0,977	0,967	0,988	0,785	0,946	0,980	0,959					
12	Вологість зерна, %	0,030	0,979	0,983	0,995	0,970	0,986	0,706	0,947	0,965	0,933	-0,983				
13	Урожайність, т/га	0,305	0,902	0,968	0,904	0,961	0,947	0,855	0,965	0,970	0,998	-0,959	0,933			
14	Вміст сирого протеїну в зерні, %	0,204	0,671	0,603	0,579	0,552	0,643	0,704	0,476	0,514	0,602	-0,571	0,573	0,602		
15	Вміст жиру в зерні, %	0,449	0,880	0,900	0,829	0,861	0,906	0,904	0,829	0,881	0,916	-0,893	0,843	0,916	0,733	
16	Вихід біоетанолу, тис. л/га	0,405	0,875	0,951	0,867	0,938	0,927	0,886	0,944	0,957	0,994	-0,942	0,899	0,994	0,603	0,930

Примітки: $n = 15$; для $r = 0.3 i >$ - істотно на рівні 0,05; для $r = 0.39 i >$ - істотно на рівні 0,01.

**Дисперсійний аналіз даних висоти рослин гібридів кукурудзи у фазу 7–
8 листків залежно від способу сівби (середнє за 2021 – 2023 рр.)**

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Степені свободи	Середній квадрат	Критерій F	
					фактич- ний	теоретич- ний
						$P_{0,05}$
1	2	3	4	5	6	7
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	1202,79	47			
		1110,08				
		1508,97				
		874,67				
Середнє 2021 2022 2023	Повторень	64,63	2			
		0,63				
		0,75				
		0,02				
Середнє 2021 2022 2023	Фактора А	1067,34	3	355,78	130,27	9,28
		1015,93		338,64	755,69	
		1421,52		473,84	1573,64	
		811,42		270,47	16228,3	
Середнє 2021 2022 2023	Похибки І	16,39	6	2,73		
		2,69		0,45		
		1,81		0,30		
		0,10		0,02		
Середнє 2021 2022 2023	Фактора В	50,79	3	16,93	136,5	9,28
		64,46		21,49	21,32	
		55,84		18,61	17,02	
		34,83		11,61	10,53	
Середнє 2021 2022 2023	взаємодії АВ	0,63	9	0,07	0,57	3,18
		2,9		0,32	0,32	
		2,81		0,31	0,29	
		1,86		0,21	0,19	
Середнє 2021 2022 2023	Похибка ІІ	2,98	24	0,12		
		24,19		1,01		
		26,25		1,09		
		26,45		1,10		

**Дисперсійний аналіз даних висоти рослин гібридів кукурудзи у фазу
цвітіння волотей залежно від способу сівби (середнє за 2021 – 2023 рр.)**

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Степені свободи	Середній квадрат	Критерій F	
					фактич- ний	теоретич- ний
						$P_{0,05}$
1	2	3	4	5	6	7
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	5267,81 2972,49 2235,00 2731,75	47			
Середнє 2021 2022 2023	Повторень	2665,37 1,58 0,31 2,17	2			
Середнє 2021 2022 2023	Фактора А	2481,09 2798,54 2103,42 2582,63	3	827,03 932,85 701,14 860,88	299,41 1672,64 483,06 1295,50	9,28
Середнє 2021 2022 2023	Похибки І	16,57 3,35 8,71 3,99	6	2,76 0,56 1,45 0,67		
Середнє 2021 2022 2023	Фактора В	90,36 113,47 82,94 87,68	3	30,12 37,82 27,65 29,23	64,12 19,56 24,21 15,20	9,28
Середнє 2021 2022 2023	Взаємодії АВ	3,14 9,16 12,23 9,12	9	0,35 1,02 1,36 1,01	0,74 0,53 1,19 0,53	3,18
Середнє 2021 2022 2023	Похибка ІІ	11,27 46,40 27,40 46,16	24	0,47 1,93 1,14 1,92		

**Дисперсійний аналіз даних висоти рослин гібридів кукурудзи у фазу
молочної стиглості залежно від способу сівби (середнє за 2021–2023 рр.)**

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Степені свободи	Середній квадрат	Критерій F	
					фактич- ний	теоретич- ний
						$P_{0,05}$
1	2	3	4	5	6	7
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	5414,56 2898,76 2173,58 2891,57	47			
Середнє 2021 2022 2023	Повторень	2801,03 0,53 0,13 1,92	2			
Середнє 2021 2022 2023	Фактора А	2451,39 2747,63 2029,59 2629,04	3	817,13 915,56 676,53 876,35	225,09 964,24 2441,00 5107,00	9,28
Середнє 2021 2022 2023	Похибки І	21,78 5,70 1,66 1,03	6	3,63 0,95 0,28 0,17		
Середнє 2021 2022 2023	Фактора В	122,77 98,50 88,95 208,49	3	40,92 32,83 29,65 69,50	85,75 21,02 16,10 49,72	9,28
Середнє 2021 2022 2023	Взаємодії АВ	6,13 9,88 9,05 17,54	9	0,68 1,10 1,01 1,95	1,43 0,70 0,55 1,39	3,18
Середнє 2021 2022 2023	Похибка ІІ	11,45 37,49 44,20 33,55	24	0,48 1,56 1,84 1,40		

**Дисперсійний аналіз даних висоти рослин гібридів кукурудзи у фазу
повної стиглості зерна залежно від способу сівби (середнє за 2021–2023 рр.)**

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Степені свободи	Середній квадрат	Критерій F	
					фактич- ний	теоретич- ний
						$P_{0,05}$
1	2	3	4	5	6	7
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	5217,95 2829,44 2049,00 2724,59	47			
Середнє 2021 2022 2023	Повторень	2719,67 0,82 0,22 0,42	2			
Середнє 2021 2022 2023	Фактора А	2342,90 2705,17 1916,40 2472,29	3	780,97 901,72 638,80 824,10	215,26 1934,28 1593,68 1640,22	9,28
Середнє 2021 2022 2023	Похибки І	21,77 2,80 2,40 3,01	6	3,63 0,47 0,40 0,50		
Середнє 2021 2022 2023	Фактора В	116,55 82,53 82,97 202,21	3	38,51 27,51 27,66 67,40	76,26 19,88 18,79 50,82	9,28
Середнє 2021 2022 2023	Взаємодії АВ	4,84 4,89 11,67 14,83	9	0,54 0,54 1,29 1,65	1,05 0,39 0,88 1,24	3,18
Середнє 2021 2022 2023	Похибка ІІ	12,23 33,22 35,33 31,83	24	0,51 1,38 1,47 1,33		

**Дисперсійний аналіз даних висоти кріплення качанів у гібридів
кукурудзи залежно від способу сівби (середнє за 2021–2023 рр.)**

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Степені свободи	Середній квадрат	Критерій F		
					фактич- ний	теоретич- ний	
						$P_{0,05}$	
1	2	3	4	5	6	7	
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	22591,74 22316,07 20709,85 23194,08	47				
Середнє 2021 2022 2023	Повторень	559,77 0,71 0,74 0,39	2				
Середнє 2021 2022 2023	Фактора А	21767,41 22064,60 20504,79 22876,60	3	7255,80 7354,87 6834,91 7625,53	1055,59 18014,99 9835,42 6995,46	9,28	
Середнє 2021 2022 2023	Похибки І	41,24 2,45 4,17 6,54	6	6,87 0,41 0,70 1,09			
Середнє 2021 2022 2023	Фактора В	184,94 181,78 144,15 235,97	3	61,65 60,59 48,05 78,66	126,56 41,11 54,89 56,83	9,28	
Середнє 2021 2022 2023	Взаємодії АВ	26,69 31,16 34,98 41,36	9	2,97 3,46 3,89 4,60	6,09 2,35 4,44 3,32	3,18	
Середнє 2021 2022 2023	Похибка ІІ	11,69 35,37 21,01 33,22	24	0,49 1,47 0,88 1,38			

**Дисперсійний аналіз даних площі листової поверхні гібридів кукурудзи
у фазу 7–8 листків залежно від способу сівби (середнє за 2021–2023 рр.)**

Рік	Джерело варіації	Сума квдратів	Степені свободи	Середній квдрат	Критерій F								
					фактич- ний	теоретич- ний							
						$P_{0,05}$							
1	2	3	4	5	6	7							
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	2,45 1,59 1,29 0,77	47										
Середнє 2021 2022 2023		Повторень		1,85 0,02 0,02 0,01	2								
Середнє 2021 2022 2023				Фактора А		0,48 0,51 0,58 0,38	3	0,16 0,17 0,193 0,126	108,87 11,78 12,44 45,09	9,28			
Середнє 2021 2022 2023						Похибки І		0,01 0,09 0,09 0,02			6	0,001 0,014 0,016 0,003	
Середнє 2021 2022 2023	Фактора В		0,09 0,16 0,07 0,07					3				0,031 0,052 0,023 0,023	55,93 1,57 1,07 1,92
Середнє 2021 2022 2023		Взаємодії АВ	0,01 0,02 0,01 0,01		9							0,001 0,002 0,001 0,001	
Середнє 2021 2022 2023			Похибка ІІ	0,01 0,79 0,52 0,29			24		0,001 0,033 0,022 0,012				

**Дисперсійний аналіз даних площі листової поверхні гібридів кукурудзи
у фазу цвітіння волотей залежно від способу сівби (середнє за 2021–2023 рр.)**

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Ступені свободи	Середній квадрат	Критерій F	
					фактич- ний	теоретич- ний
						$P_{0,05}$
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	516,30 428,02 358,16 363,52	47			
Середнє 2021 2022 2023	Повторень	150,15 0,24 0,12 0,07	2			
Середнє 2021 2022 2023	Фактора А	315,47 350,15 302,45 283,35	3	105,16 116,72 100,82 94,45	723,50 533,73 916,5 313,89	9,28
Середнє 2021 2022 2023	Похибки І	0,87 1,31 0,66 1,81	6	0,15 0,22 0,11 0,30		
Середнє 2021 2022 2023	Фактора В	43,94 49,85 30,30 44,70	3	14,65 16,62 10,10 14,90	224,14 18,73 10,33 18,06	9,28
Середнє 2021 2022 2023	Взаємодії АВ	4,29 5,17 1,18 13,80	9	0,48 0,57 0,13 1,53	7,30 0,65 0,13 1,86	3,18
Середнє 2021 2022 2023	Похибка ІІ	1,57 21,29 23,45 19,79	24	0,07 0,89 0,98 0,83		

**Дисперсійний аналіз даних площі листової поверхні гібридів кукурудзи
у фазу молочної стиглості зерна залежно від способу сівби (середнє за 2021–
2023 рр.)**

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Степені свободи	Середній квадрат	Критерій F	
					фактич- ний	теоретич- ний
						$P_{0,05}$
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	583,68 438,88 347,88 527,39	47			
Середнє 2021 2022 2023	Повторень	169,59 1,09 1,26 0,30	2			
Середнє 2021 2022 2023	Фактора А	355,11 351,17 292,64 428,75	3	118,37 117,06 97,55 142,92	268,30 404,33 448,91 725,42	9,28
Середнє 2021 2022 2023	Похибки І	2,65 1,74 1,30 1,18	6	0,44 0,29 0,22 0,20		
Середнє 2021 2022 2023	Фактора В	50,94 59,02 31,60 65,91	3	16,98 19,66 10,53 21,97	153,22 21,65 12,92 20,94	9,28
Середнє 2021 2022 2023	Взаємодії АВ	2,73 4,05 1,52 6,07	9	0,30 0,45 0,17 0,67	2,73 0,49 0,21 0,64	3,18
Середнє 2021 2022 2023	Похибка ІІ	2,66 21,81 19,57 25,18	24	0,11 0,91 0,82 1,05		

Дисперсійний аналіз даних площі листової поверхні гібридів кукурудзи у фазу повної стиглості зерна залежно від способу сівби (середнє за 2021–2023 рр.)

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Степені свободи	Середній квадрат	Критерій F	
					фактичний	теоретичний
						$P_{0,05}$
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	524,49 369,74 402,97 408,71	47			
Середнє 2021 2022 2023	Повторень	150,60 0,29 0,20 0,07	2			
Середнє 2021 2022 2023	Фактора А	325,92 305,37 351,77 334,63	3	108,64 101,79 117,26 111,54	146,37 198,29 1622,00 308,59	9,28
Середнє 2021 2022 2023	Похибки І	4,45 3,08 0,43 2,17	6	0,74 0,51 0,07 0,36		
Середнє 2021 2022 2023	Фактора В	38,35 39,03 27,71 50,99	3	12,79 13,01 9,24 17,00	143,72 20,77 10,09 26,22	9,28
Середнє 2021 2022 2023	Взаємодії АВ	3,02 6,94 0,89 5,30	9	0,34 0,77 0,10 0,59	3,77 1,23 0,11 0,91	3,18
Середнє 2021 2022 2023	Похибка ІІ	2,13 15,03 21,97 15,56	24	0,09 0,63 0,92 0,65		

**Дисперсійний аналіз даних фотосинтетичного потенціалу гібридів кукурудзи
у період «7-8 листків-цвітіння волотей» залежно від способу сівби (середнє
за 2021–2023 рр.)**

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Степені свободи	Середній квадрат	Критерій F				
					фактич- ний	теоретич- ний			
						$P_{0,05}$			
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	0,39 0,57 0,03 0,04	47						
Середнє 2021 2022 2023		0,180 0,001 0,001 0,001		2					
Середнє 2021 2022 2023		0,13 0,56 0,02 0,03			3	0,042 0,185 0,008 0,010	3,36 873,10 290,53 157,80	9,28	
Середнє 2021 2022 2023		0,080 0,001 0,001 0,001				6	0,013 0,001 0,001 0,001		
Середнє 2021 2022 2023	0,001 0,010 0,001 0,001	3	0,001 0,002 0,001 0,001				100,19 8,71 22,85 42,56		9,28
Середнє 2021 2022 2023	0,001 0,001 0,001 0,001		9	0,001 0,001 0,001 0,001			4,76 0,59 0,41 2,38		
Середнє 2021 2022 2023	0,001 0,010 0,001 0,001			24	0,001 0,001 0,001 0,001				

**Дисперсійний аналіз даних фотосинтетичного потенціалу гібридів кукурудзи
у період «цвітіння волотей-молочна стиглість зерна» залежно від способу
сівби (середнє за 2021–2023 рр.)**

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Степені свободи	Середній квадрат	Критерій F				
					фактич- ний	теоретич- ний			
						$P_{0,05}$			
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	2,59 1,89 0,30 1,74	47						
Середнє 2021 2022 2023		1,290 0,001 0,001 0,001		2					
Середнє 2021 2022 2023		0,82 1,84 0,29 1,69			3	0,273 0,613 0,095 0,563	3,6100 1367,56 1119,73 2070,07	9,28	
Середнє 2021 2022 2023		0,450 0,001 0,001 0,001				6	0,076 0,001 0,001 0,001		
Середнє 2021 2022 2023	0,02 0,04 0,01 0,03	3	0,007 0,012 0,002 0,011				41,05 26,74 11,08 30,17		9,28
Середнє 2021 2022 2023	0,001 0,010 0,001 0,010		9	0,001 0,001 0,001 0,001			1,89 1,46 0,30 2,42		
Середнє 2021 2022 2023	0,001 0,010 0,001 0,010			24	0,001 0,001 0,001 0,001				

**Дисперсійний аналіз даних фотосинтетичного потенціалу гібридів кукурудзи
у період «7–8 листків–повна стиглість зерна» залежно від способу сівби**

(середнє за 2021–2023 рр.)

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Степені свободи	Середній квадрат	Критерій F								
					фактич- ний	теоретич- ний							
						$P_{0,05}$							
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	3,24 3,29 2,48 2,66	47										
Середнє 2021 2022 2023		Повторень		0,440 0,001 0,001 0,001	2								
Середнє 2021 2022 2023				Фактора А		2,72 3,20 2,44 2,57	3	0,907 1,068 0,812 0,855	376,48 14126,2 4188,74 3717,82	9,28			
Середнє 2021 2022 2023						Похибки І		0,010 0,001 0,001 0,001			6	0,002 0,001 0,001 0,001	
Середнє 2021 2022 2023	Фактора В		0,05 0,06 0,04 0,07					3				0,018 0,020 0,012 0,023	119,02 30,51 44,57 53,56
Середнє 2021 2022 2023		Взаємодії АВ	0,010 0,020 0,001 0,010		9							0,001 0,002 0,001 0,001	
Середнє 2021 2022 2023			Похибка ІІ	0,001 0,020 0,010 0,010			24		0,001 0,001 0,001 0,001				

**Дисперсійний аналіз даних чистої продуктивності фотосинтезу
гібридів кукурудзи у фазу 7–8 листків залежно від способу сівби (середнє за
2021–2023 рр.)**

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Ступені свободи	Середній квадрат	Критерій F	
					фактич- ний	теоретич- ний
						$P_{0,05}$
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	24,28 19,41 39,11 7,680	47			
Середнє 2021 2022 2023	Повторень	2,200 0,001 0,020 0,001	2			
Середнє 2021 2022 2023	Фактора А	13,40 9,08 33,18 6,33	3	4,468 3,027 11,06 2,109	9,1700 1384,86 15070,4 2317,32	9,28
Середнє 2021 2022 2023	Похибки I	2,920 0,010 0,001 0,010	6	0,487 0,002 0,001 0,001		
Середнє 2021 2022 2023	Фактора В	0,85 3,03 3,49 0,14	3	0,282 1,010 1,163 0,047	1,6800 329,00 257,71 29,750	9,28
Середнє 2021 2022 2023	Взаємодії АВ	0,89 7,21 2,31 1,16	9	0,099 0,801 0,257 0,129	0,5900 260,94 56,950 82,200	3,18
Середнє 2021 2022 2023	Похибка II	4,02 0,07 0,11 0,04	24	0,168 0,003 0,005 0,002		

**Дисперсійний аналіз даних чистої продуктивності фотосинтезу
гібридів кукурудзи у фазу цвітіння волотей залежно від способу сівби**

(середнє за 2021–2023 рр.)

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Степені свободи	Середній квадрат	Критерій F				
					фактич- ний	теоретич- ний			
						$P_{0,05}$			
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	60,33 82,89 9,460 5,980	47						
Середнє 2021 2022 2023		27,62 0,001 0,001 0,001		2					
Середнє 2021 2022 2023		16,55 72,91 6,44 4,41			3	5,518 24,30 2,146 1,469	2,9100 11296,3 4384,4 1829,12	9,28	
Середнє 2021 2022 2023		11,36 0,010 0,001 0,001				6	1,894 0,002 0,001 0,001		
Середнє 2021 2022 2023	1,18 3,35 0,63 1,35	3	0,393 1,118 0,211 0,449				4,090 292,6 196,6 291,2		9,28
Середнє 2021 2022 2023	1,31 6,51 2,36 0,18		9	0,146 0,723 0,262 0,020			1,520 189,3 243,5 13,23		
Середнє 2021 2022 2023	2,30 0,09 0,03 0,04			24	0,096 0,004 0,001 0,002				

**Дисперсійний аналіз даних чистої продуктивності фотосинтезу
гібридів кукурудзи у фазу воскової стиглості зерна залежно від способу сівби
(середнє за 2021–2023 рр.)**

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Ступені свободи	Середній квадрат	Критерій F				
					фактич- ний	теоретич- ний			
						$P_{0,05}$			
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	20,31 34,29 13,41 10,24	47						
Середнє 2021 2022 2023		0,580 0,001 0,001 0,001		2					
Середнє 2021 2022 2023		11,92 19,12 11,03 8,290			3	3,973 6,374 3,676 2,765	23,680 1384,8 2748,2 2890,4	9,28	
Середнє 2021 2022 2023		1,01 0,03 0,01 0,01				6	0,168 0,005 0,001 0,001		
Середнє 2021 2022 2023	1,48 4,46 0,20 1,12	3	0,493 1,488 0,067 0,372				2,780 716,2 71,09 284,8		9,28
Середнє 2021 2022 2023	1,08 10,63 2,15 0,79		9	0,120 1,181 0,239 0,088			0,670 568,7 252,2 67,12		
Середнє 2021 2022 2023	4,25 0,05 0,02 0,03			24	0,177 0,002 0,001 0,001				

**Дисперсійний аналіз даних довжини качана у гібридів кукурудзи
залежно від способу сівби (середнє за 2021–2023 рр.)**

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Степені свободи	Середній квадрат	Критерій F	
					фактич- ний	теоретич- ний
						$P_{0,05}$
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	14,16 13,64 12,05 15,53	47			
Середнє 2021 2022 2023	Повторень	0,93 0,01 0,01 0,03	2			
Середнє 2021 2022 2023	Фактора А	10,46 9,37 9,59 12,79	3	3,487 3,123 3,196 4,262	176,83 671,21 1643,8 1859,7	9,28
Середнє 2021 2022 2023	Похибки І	0,12 0,03 0,01 0,01	6	0,020 0,005 0,002 0,002		
Середнє 2021 2022 2023	Фактора В	2,42 3,57 1,86 2,08	3	0,806 1,191 0,620 0,692	101,78 52,95 32,68 41,51	9,28
Середнє 2021 2022 2023	Взаємодії АВ	0,05 0,13 0,13 0,23	9	0,005 0,014 0,014 0,025	0,63 0,62 0,75 1,51	3,18
Середнє 2021 2022 2023	Похибка ІІ	0,19 0,54 0,46 0,40	24	0,008 0,023 0,019 0,017		

Дисперсійний аналіз даних діаметра качана залежно від способу сівби

(середнє за 2021–2023 рр.)

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Степені свободи	Середній квадрат	Критерій F	
					фактич- ний	теоретич- ний
						$P_{0,05}$
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	3,45 3,92 3,21 3,39	47			
Середнє 2021 2022 2023	Повторень	0,45 0,02 0,01 0,01	2			
Середнє 2021 2022 2023	Фактора А	2,66 3,10 2,51 2,67	3	0,887 1,032 0,835 0,890	209,36 380,92 167,04 1068,3	9,28
Середнє 2021 2022 2023	Похибки І	0,020 0,020 0,030 0,001	6	0,030 0,003 0,005 0,001		
Середнє 2021 2022 2023	Фактора В	0,28 0,39 0,27 0,19	3	0,095 0,129 0,090 0,064	114,0 8,25 6,31 3,11	9,28
Середнє 2021 2022 2023	Взаємодії АВ	0,01 0,02 0,05 0,02	9	0,001 0,002 0,006 0,002	1,33 0,14 0,42 0,12	3,18
Середнє 2021 2022 2023	Похибка ІІ	0,02 0,38 0,34 0,49	24	0,001 0,016 0,014 0,020		

**Дисперсійний аналіз даних маси зерна з качана залежно від способу
сівби (середнє за 2021–2023 рр.)**

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Степені свободи	Середній квадрат	Критерій F	
					фактич- ний	теоретич- ний
						$P_{0,05}$
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	19348,5 20708,9 10860,5 17858,9	47			
Середнє 2021 2022 2023	Повторень	2998,2 0,17 4,82 0,33	2			
Середнє 2021 2022 2023	Фактора А	13275,2 17496,5 7911,3 15908,7	3	4425,1 5830,5 2637,1 5302,9	61,14 6290,5 5039,0 4840,4	9,28
Середнє 2021 2022 2023	Похибки І	434,29 5,56 3,14 6,57	6	72,38 0,927 0,523 1,096		
Середнє 2021 2022 2023	Фактора В	2402,3 3006,4 2654,6 1653,1	3	800,75 1002,14 884,86 551,02	133,12 207,28 396,45 238,8	9,28
Середнє 2021 2022 2023	Взаємодії АВ	94,17 89,36 233,1 234,9	9	10,46 9,928 25,90 26,10	1,74 2,05 11,61 11,31	3,18
Середнє 2021 2022 2023	Похибка ІІ	144,37 116,03 53,57 55,38	24	6,015 4,835 2,232 2,308		

**Дисперсійний аналіз даних маси 1000 зерен залежно від способу сівби,
(середнє за 2021–2023 рр.)**

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Степені свободи	Середній квадрат	Критерій F	
					фактич- ний	теоретич- ний
						$P_{0,05}$
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	5081,9 2822,9 2050,1 2647,7	47			
Середнє 2021 2022 2023	Повторень	2612,5 0,66 1,70 0,96	2			
Середнє 2021 2022 2023	Фактора А	2326,7 2697,8 1910,3 2451,4	3	755,56 899,27 636,76 817,12	148,89 5515,1 1262,83 1858,26	9,28
Середнє 2021 2022 2023	Похибки І	31,25 0,98 3,03 2,64	6	5,209 0,163 0,504 0,440		
Середнє 2021 2022 2023	Фактора В	101,92 82,63 83,07 147,34	3	33,97 27,54 27,69 49,12	123,98 18,24 16,51 28,37	9,28
Середнє 2021 2022 2023	Взаємодії АВ	3,04 4,54 11,74 3,81	9	0,337 0,504 1,305 0,424	1,23 0,33 0,78 0,24	3,18
Середнє 2021 2022 2023	Похибка ІІ	6,58 36,23 40,25 41,55	24	0,274 1,510 1,677 1,731		

Дисперсійний аналіз даних вологості зерна залежно від способу сівби
(середнє за 2021–2023 рр.)

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Степені свободи	Середній квадрат	Критерій F	
					фактич- ний	теоретич- ний
						$P_{0,05}$
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	383,52 224,34 225,65 190,01	47			
Середнє 2021 2022 2023	Повторень	174,83 0,270 0,080 0,080	2			
Середнє 2021 2022 2023	Фактора А	198,42 208,55 215,13 180,76	3	66,14 69,52 71,71 60,25	125,52 466,90 624,70 785,19	9,28
Середнє 2021 2022 2023	Похибки І	3,16 0,89 0,69 0,46	6	0,527 0,149 0,115 0,077		
Середнє 2021 2022 2023	Фактора В	6,38 10,35 4,31 5,47	3	2,130 3,450 1,437 1,823	87,05 22,17 6,77 16,39	9,28
Середнє 2021 2022 2023	Взаємодії АВ	0,14 0,54 0,34 0,56	9	0,015 0,060 0,038 0,063	0,61 0,39 0,18 0,56	3,18
Середнє 2021 2022 2023	Похибка ІІ	0,59 3,74 5,09 2,67	24	0,024 0,156 0,212 0,111		

**Дисперсійний аналіз даних урожайності зерна залежно
від способу сівби, т/га (середнє за 2021–2023 рр.)**

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Степені свободи	Середній квадрат	Критерій F	
					фактич- ний	теоретич- ний
						$P_{0,05}$
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	82,20 87,65 46,91 76,30	47			
Середнє 2021 2022 2023	Повторень	12,74 0,03 0,04 0,03	2			
Середнє 2021 2022 2023	Фактора А	56,39 73,60 33,65 67,66	3	18,79 24,53 11,22 22,55	61,010 523,51 219,46 481,22	9,28
Середнє 2021 2022 2023	Похибки І	1,85 0,28 0,31 0,28	6	0,308 0,047 0,051 0,047		
Середнє 2021 2022 2023	Фактора В	10,19 12,97 11,23 6,97	3	3,398 4,324 3,742 2,322	132,17 278,58 126,31 149,59	9,28
Середнє 2021 2022 2023	Взаємодії АВ	0,40 0,39 0,98 0,99	9	0,045 0,044 0,109 0,110	1,74 2,81 3,68 7,12	3,18
Середнє 2021 2022 2023	Похибка ІІ	0,62 0,37 0,71 0,37	24	0,026 0,016 0,030 0,016		

Додаток К22

**Дисперсійний аналіз даних площі листової поверхні у фазу 7-8 листків
залежно від системи удобрення (середнє за 2021–2023 рр.)**

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Ступені свободи	Середній квадрат	Критерій F		t
					фактичний	теоретичний	
						P _{0,05}	
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	0,32 0,12 0,22 0,18	14				
Середнє 2021 2022 2023	Повторень	0,24 0,01 0,01 0,01	2				
Середнє 2021 2022 2023	Варіантів	0,08 0,09 0,08 0,08	4	0,02 0,02 0,02 0,02	67,05 4,45 1,33 1,79	6,39	
Середнє 2021 2022 2023	Похибка	0,01 0,04 0,12 0,71	8	0,01 0,01 0,02 0,01			2,31
Середнє 2021 2022 2023	НІР ₀₅ , тис. м ² /га		2,31	0,140 0,056 0,101 0,089		0,033 0,130 0,234 0,205	

**Дисперсійний аналіз даних площі листової поверхні у фазу цвітіння
волотей залежно від системи удобрення (середнє за 2021–2023 рр.)**

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Ступені свободи	Середній квадрат	Критерій F		t
					фактичний	теоретичний	
						P _{0,05}	
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	47,23 19,82 59,14 50,18	14				
Середнє 2021 2022 2023	Повторень	11,5 0,37 0,37 0,27	2				
Середнє 2021 2022 2023	Варіантів	32,88 12,86 52,91 42,29	4	8,220 3,210 13,23 10,57	23,03 3,900 18,06 11,10	6,39	
Середнє 2021 2022 2023	Похибка	2,86 6,59 5,86 7,62	8	0,36 0,82 0,73 0,95			2,31
Середнє 2021 2022 2023	НІР ₀₅ , тис. м ² /га		2,31	0,488 0,741 0,699 0,797		1,127 1,712 1,614 1,841	

Додаток К23

Дисперсійний аналіз даних площі листової поверхні у фазу молочної стиглості зерна залежно від системи удобрення (середнє за 2021–2023 рр.)

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Степені свободи	Середній квадрат	Критерій F		t
					фактичний	теоретичний P _{0,05}	
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	42,71 20,98 56,12 22,01	14				
Середнє 2021 2022 2023	Повторень	17,43 0,58 0,12 0,18	2				
Середнє 2021 2022 2023	Варіантів	22,56 12,76 47,24 15,17	4	5,64 3,19 11,81 3,79	16,63 3,34 10,8 4,55	6,39	
Середнє 2021 2022 2023	Похибка	2,71 7,64 8,75 6,67	8	0,34 0,95 1,09 0,83			2,31
Середнє 2021 2022 2023	НІР ₀₅ , тис. м ² /га		2,31	0,476 0,798 0,854 0,746		1,098 1,843 1,973 1,722	

Дисперсійний аналіз даних площі листової поверхні у фазу повної стиглості зерна залежно від системи удобрення (середнє за 2021–2023 рр.)

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Степені свободи	Середній квадрат	Критерій F		t
					фактичний	теоретичний P _{0,05}	
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	57,94 25,37 28,40 33,02	14				
Середнє 2021 2022 2023	Повторень	37,92 0,12 0,15 1,24	2				
Середнє 2021 2022 2023	Варіантів	19,48 13,06 20,52 25,43	4	4,87 3,26 6,13 6,36	73,61 2,14 6,41 8,01	6,39	
Середнє 2021 2022 2023	Похибка	0,53 12,19 7,73 6,35	8	0,07 1,52 0,97 0,79			2,31
Середнє 2021 2022 2023	НІР ₀₅ , тис. м ² /га		2,31	0,210 1,008 0,802 0,727		0,485 2,328 1,853 1,680	

Додаток К24

Дисперсійний аналіз даних фотосинтетичного потенціалу посіву у період 7-8 листків-цвітіння волотей залежно від системи удобрення (середнє за 2021–2023 рр.)

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Степені свободи	Середній квадрат	Критерій F		t
					фактичний	теоретичний	
						P _{0,05}	
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	0,07 0,01 0,02 0,02	14				
Середнє 2021 2022 2023	Повторень	0,050 0,001 0,001 0,001	2				
Середнє 2021 2022 2023	Варіантів	0,001 0,010 0,020 0,020	4	0,001 0,001 0,001 0,001	94,64 9,36 77,95 27,46	6,39	
Середнє 2021 2022 2023	Похибка	0,001 0,001 0,001 0,001	8	0,001 0,001 0,001 0,001			2,31
Середнє 2021 2022 2023	НІР ₀₅ , млн м ² діб/га		2,31	0,005 0,013 0,006 0,010		0,012 0,030 0,014 0,024	

Дисперсійний аналіз даних фотосинтетичного потенціалу посіву у період цвітіння волотей-повна стиглість залежно від системи удобрення (середнє за 2021–2023 рр.)

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Степені свободи	Середній квадрат	Критерій F		t
					фактичний	теоретичний	
						P _{0,05}	
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	0,07 0,04 0,08 0,05	14				
Середнє 2021 2022 2023	Повторень	0,010 0,001 0,001 0,001	2				
Середнє 2021 2022 2023	Варіантів	0,05 0,03 0,08 0,05	4	0,010 0,010 0,020 0,010	52,97 8,43 200,35 85,83	6,39	
Середнє 2021 2022 2023	Похибка	0,001 0,010 0,001 0,001	8	0,001 0,001 0,001 0,001			2,31
Середнє 2021 2022 2023	НІР ₀₅ , млн м ² діб/га		2,31	0,013 0,025 0,008 0,010		0,030 0,058 0,019 0,023	

Додаток К25

**Дисперсійний аналіз даних фотосинтетичного потенціалу посіву у період 7–8
листіків-повна стиглість залежно від системи удобрення (середнє за 2021–2023 рр.)**

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Степені свободи	Середній квадрат	Критерій F		t
					фактичний	теоретичний	
						P _{0,05}	
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	0,09 0,07 0,11 0,08	14				
Середнє 2021 2022 2023	Повторень	0,010 0,001 0,001 0,001	2				
Середнє 2021 2022 2023	Варіантів	0,08 0,07 0,09 0,08	4	0,02 0,02 0,02 0,02	169,11 115,85 17,290 110,65	6,39	
Середнє 2021 2022 2023	Похибка	0,001 0,001 0,010 0,001	8	0,001 0,001 0,001 0,001			2,31
Середнє 2021 2022 2023	НІР ₀₅ , млн м ² діб/га		2,31	0,009 0,010 0,030 0,011		0,020 0,022 0,069 0,025	

**Дисперсійний аналіз даних чистої продуктивності посіву у фазу 7–8
листіків залежно від системи удобрення (середнє за 2021–2023 рр.)**

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Степені свободи	Середній квадрат	Критерій F		t
					фактичний	теоретичний	
						P _{0,05}	
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	1,57 1,06 0,19 0,14	14				
Середнє 2021 2022 2023	Повторень	1,110 0,001 0,001 0,001	2				
Середнє 2021 2022 2023	Варіантів	0,30 1,05 0,19 0,14	4	0,08 0,26 0,05 0,03	3,8000 795,49 364,55 137,70	6,39	
Середнє 2021 2022 2023	Похибка	0,160 0,001 0,001 0,001	8	0,020 0,001 0,001 0,001			2,31
Середнє 2021 2022 2023	НІР ₀₅ , г/м ² за добу		2,31	0,115 0,015 0,009 0,013		0,266 0,034 0,021 0,030	

Додаток К26

**Дисперсійний аналіз даних чистої продуктивності посіву у фазу
цвітіння волотей залежно від системи удобрення (середнє за 2021–2023 рр.)**

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Ступені свободи	Середній квадрат	Критерій F		t
					фактичний	теоретичний P _{0,05}	
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	16,95 0,60 37,69 0,13	14				
Середнє 2021 2022 2023	Повторень	16,44 0,001 0,001 0,001	2				
Середнє 2021 2022 2023	Варіантів	0,170 0,600 37,69 0,010	4	0,04 0,15 9,42 0,03	0,970 355,11 54789,8 18,850	6,39	
Середнє 2021 2022 2023	Похибка	0,350 0,001 0,001 0,010	8	0,040 0,001 0,001 0,001			2,31
Середнє 2021 2022 2023	НІР ₀₅ , г/м ² за добу		2,31	0,170 0,017 0,011 0,032		0,392 0,040 0,025 0,074	

**Дисперсійний аналіз даних чистої продуктивності посіву у фазу повної
стигlosti зерна залежно від системи удобрення (середнє за 2021–2023 рр.)**

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Ступені свободи	Середній квадрат	Критерій F		t
					фактичний	теоретичний P _{0,05}	
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	0,24 0,09 0,31 0,12	14				
Середнє 2021 2022 2023	Повторень	0,070 0,001 0,001 0,001	2				
Середнє 2021 2022 2023	Варіантів	0,14 0,07 0,30 0,11	4	0,03 0,02 0,08 0,03	9,6900 12,100 103,84 179,40	6,39	
Середнє 2021 2022 2023	Похибка	0,030 0,010 0,010 0,001	8	0,001 0,001 0,001 0,001			2,31
Середнє 2021 2022 2023	НІР ₀₅ , г/м ² за добу		2,31	0,048 0,031 0,022 0,010		0,111 0,073 0,051 0,024	

Дисперсійний аналіз даних висоти рослин у фазу 7-8 листків залежно від системи удобрення (середнє за 2021–2023 рр.)

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Степені свободи	Середній квадрат	Критерій F		t
					фактичний	теоретичний P _{0,05}	
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	47,58	14				
		53,23					
		59,60					
		49,69					
Середнє 2021 2022 2023	Повторень	3,18	2				
		0,50					
		0,51					
		0,47					
Середнє 2021 2022 2023	Варіантів	43,41	4	10,85	88,35	6,39	
		42,02		10,50	7,840		
		50,82		12,70	12,28		
		39,67		9,92	8,31		
Середнє 2021 2022 2023	Похибка	0,98	8	0,12			2,31
		10,72		1,34			
		8,27		1,03			
		9,55		1,19			
Середнє 2021 2022 2023	НІР ₀₅ , см		2,31	0,286		0,661	
				0,945		2,183	
				0,830		1,918	
				0,892		2,061	

Дисперсійний аналіз даних висоти рослин у фазу цвітіння волотей залежно від системи удобрення (середнє за 2021–2023 рр.)

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Степені свободи	Середній квадрат	Критерій F		t
					фактичний	теоретичний P _{0,05}	
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	1307,34	14				
		128,78					
		280,89					
		208,25					
Середнє 2021 2022 2023	Повторень	1126,64	2				
		2,71					
		4,69					
		2,84					
Середнє 2021 2022 2023	Варіантів	160,98	4	40,24	16,32	6,39	
		96,04		24,01	6,40		
		256,7		64,18	26,33		
		188,1		47,02	21,73		
Середнє 2021 2022 2023	Похибка	19,73	8	2,47			2,31
		30,02		3,75			
		19,50		2,44			
		17,32		2,16			
Середнє 2021 2022 2023	НІР ₀₅ , см		2,31	1,282		2,962	
				1,582		3,654	
				1,275		2,944	
				1,201		2,775	

**Дисперсійний аналіз даних висоти рослин у фазу молочної стиглості
зерна залежно від системи удобрення (середнє за 2021–2023 рр.)**

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Ступені свободи	Середній квадрат	Критерій F		t
					фактичний	теоретичний	
						P _{0,05}	
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	1197,42 74,73 358,25 83,16	14				
Середнє 2021 2022 2023	Повторень	1045,3 0,040 1,190 1,450	2				
Середнє 2021 2022 2023	Варіантів	123,01 56,220 332,39 65,100	4	30,76 14,06 83,10 16,28	8,47 6,49 26,95 7,84	6,39	
Середнє 2021 2022 2023	Похибка	29,06 18,47 24,67 16,60	8	3,63 2,31 3,08 2,08			2,31
Середнє 2021 2022 2023	НІР ₀₅ , см		2,31	1,556 1,241 1,434 1,176		3,595 2,866 3,312 2,717	

**Дисперсійний аналіз даних висоти рослин у фазу повної стиглості зерна
залежно від системи удобрення (середнє за 2021–2023 рр.)**

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Ступені свободи	Середній квадрат	Критерій F		t
					фактичний	теоретичний	
						P _{0,05}	
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	1240,08 68,41 363,86 79,99	14				
Середнє 2021 2022 2023	Повторень	1082,68 2,25 0,77 1,53	2				
Середнє 2021 2022 2023	Варіантів	124,99 53,22 353,98 64,90	4	31,25 13,30 88,50 16,23	7,71 8,22 77,73 9,57	6,39	
Середнє 2021 2022 2023	Похибка	32,41 12,94 9,11 13,56	8	4,05 1,62 1,14 1,69			2,31
Середнє 2021 2022 2023	НІР ₀₅ , см		2,31	1,643 1,039 0,871 1,063		3,796 2,399 2,012 2,455	

**Дисперсійний аналіз даних довжини качана залежно від системи
удобрення (середнє за 2021–2023 рр.)**

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Ступені свободи	Середній квадрат	Критерій F		t
					фактичний	теоретичний P _{0,05}	
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	0,56	14				
		0,33					
		0,43					
		0,91					
Середнє 2021 2022 2023	Повторень	0,160	2				
		0,001					
		0,020					
		0,010					
Середнє 2021 2022 2023	Варіантів	0,34	4	0,09	11,95	6,39	
		0,25		0,06	6,78		
		0,14		0,04	1,06		
		0,74		0,19	9,21		
Середнє 2021 2022 2023	Похибка	0,06	8	0,01			2,31
		0,09		0,01			
		0,27		0,03			
		0,16		0,02			
Середнє 2021 2022 2023	HP ₀₅ , см		2,31	0,069		0,160	
				0,084		0,195	
				0,150		0,346	
				0,116		0,268	

**Дисперсійний аналіз даних діаметра качана залежно від системи
удобрення (середнє за 2021–2023 рр.)**

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Ступені свободи	Середній квадрат	Критерій F		t
					фактичний	теоретичний P _{0,05}	
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	0,42	14				
		0,42					
		0,20					
		0,30					
Середнє 2021 2022 2023	Повторень	0,200	2				
		0,001					
		0,001					
		0,001					
Середнє 2021 2022 2023	Варіантів	0,20	4	0,05	17,0	6,39	
		0,33		0,08	7,40		
		0,10		0,02	2,00		
		0,20		0,05	4,25		
Середнє 2021 2022 2023	Похибка	0,02	8	0,001			2,31
		0,09		0,010			
		0,10		0,010			
		0,10		0,010			
Середнє 2021 2022 2023	HP ₀₅ , см		2,31	0,045		0,103	
				0,086		0,199	
				0,089		0,207	
				0,089		0,207	

**Дисперсійний аналіз даних маси зерна з качана залежно від системи
удобрення (середнє за 2021–2023 рр.)**

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Ступені свободи	Середній квадрат	Критерій F		t
					фактичний	теоретичний P _{0,05}	
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	3245,87 4620,52 1323,88 2371,17	14				
Середнє 2021 2022 2023	Повторень	1264,34 3,85 0,26 0,64	2				
Середнє 2021 2022 2023	Варіантів	1914,71 4577,95 1302,04 2354,79	4	478,68 1144,49 325,51 588,70	57,300 236,46 120,65 299,24	6,39	
Середнє 2021 2022 2023	Похибка	66,83 38,72 21,58 15,74	8	8,35 4,84 2,70 1,97			2,31
Середнє 2021 2022 2023	HP ₀₅ , г		2,31	2,360 1,796 1,341 1,145		5,451 4,150 3,098 2,645	

**Дисперсійний аналіз даних маси 1000 зерен залежно від системи
удобрення (середнє за 2021–2023 рр.)**

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Ступені свободи	Середній квадрат	Критерій F		t
					фактичний	теоретичний P _{0,05}	
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	2518,24 1391,24 1626,92 2253,73	14				
Середнє 2021 2022 2023	Повторень	775,49 3,93 7,25 0,49	2				
Середнє 2021 2022 2023	Варіантів	1713,12 1369,16 1607,99 2237,99	4	428,28 342,29 402,00 559,50	115,67 150,87 275,22 293,42	6,39	
Середнє 2021 2022 2023	Похибка	29,62 18,15 11,69 15,25	8	3,70 2,27 1,46 1,91			2,31
Середнє 2021 2022 2023	HP ₀₅ , г		2,31	1,571 1,23 0,987 1,127		3,629 2,841 2,280 2,604	

**Дисперсійний аналіз даних вологості зерна залежно від системи
удобрення (середнє за 2021–2023 рр.)**

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Степені свободи	Середній квадрат	Критерій F		t
					фактичний	теоретичний P _{0,05}	
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	48,84	14				
		1,50					
		5,06					
		19,91					
Середнє 2021 2022 2023	Повторень	44,09	2				
		0,07					
		0,09					
		0,46					
Середнє 2021 2022 2023	Варіантів	3,74	4	0,94	7,46	6,39	
		0,89		0,22	3,29		
		3,59		0,90	7,31		
		10,49		2,62	2,34		
Середнє 2021 2022 2023	Похибка	1,00	8	0,13			2,31
		0,54		0,07			
		1,38		0,17			
		8,96		1,12			
Середнє 2021 2022 2023	НІР ₀₅ , %		2,31	0,289		0,668	
				0,212		0,491	
				0,339		0,783	
				0,864		1,996	

**Дисперсійний аналіз даних урожайності зерна залежно від системи
удобрення (середнє за 2021–2023 рр.)**

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Степені свободи	Середній квадрат	Критерій F		t
					фактичний	теоретичний P _{0,05}	
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	13,79	14				
		9,94					
		5,8					
		10,11					
Середнє 2021 2022 2023	Повторень	5,390	2				
		0,040					
		0,001					
		0,001					
Середнє 2021 2022 2023	Варіантів	8,12	4	2,03	58,32	6,39	
		9,77		2,44	149,79		
		5,56		1,39	46,14		
		9,90		2,48	97,43		
Середнє 2021 2022 2023	Похибка	0,28	8	0,03			2,31
		0,13		0,02			
		0,24		0,03			
		0,20		0,03			
Середнє 2021 2022 2023	НІР ₀₅ , т/га		2,31	0,152		0,352	
				0,104		0,241	
				0,142		0,327	
				0,130		0,301	

Дисперсійний аналіз даних вмісту крохмалю у зерні кукурудзи залежно від системи удобрення (середнє за 2021–2023 рр.)

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Степені свободи	Середній квадрат	Критерій F		t
					фактичний	теоретичний	
						P _{0,05}	
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	3,01 3,94 0,26 5,54	14				
Середнє 2021 2022 2023	Повторень	1,55 0,08 0,04 0,50	2				
Середнє 2021 2022 2023	Варіантів	1,07 2,37 0,05 1,96	4	0,27 0,59 0,01 0,49	5,47 3,17 0,60 1,27	6,39	
Середнє 2021 2022 2023	Похибка	0,39 1,49 0,17 3,08	8	0,05 0,19 0,02 0,39			2,31
Середнє 2021 2022 2023	НІР ₀₅ , %		2,31	0,180 0,353 0,118 0,507		0,416 0,815 0,273 1,171	

Дисперсійний аналіз даних вмісту сирого протеїну в зерні кукурудзи залежно від системи удобрення (середнє за 2021–2023 рр.)

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Степені свободи	Середній квадрат	Критерій F		t
					фактичний	теоретичний	
						P _{0,05}	
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	1,42 1,16 0,74 1,30	14				
Середнє 2021 2022 2023	Повторень	0,420 0,030 0,001 0,001	2				
Середнє 2021 2022 2023	Варіантів	0,94 1,09 0,67 1,23	4	0,24 0,27 0,17 0,31	33,64 52,96 20,19 37,83	6,39	
Середнє 2021 2022 2023	Похибка	0,06 0,04 0,07 0,07	8	0,01 0,01 0,01 0,01			2,31
Середнє 2021 2022 2023	НІР ₀₅ , %		2,31	0,068 0,059 0,074 0,074		0,158 0,135 0,172 0,170	

Дисперсійний аналіз даних вмісту жиру в зерні кукурудзи залежно від системи удобрення (середнє за 2021–2023 рр.)

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Ступені свободи	Середній квадрат	Критерій F		t
					фактичний	теоретичний	
						$P_{0,05}$	
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	0,52 0,21 0,87 0,27	14				
Середнє 2021 2022 2023	Повторень	0,130 0,010 0,001 0,001	2				
Середнє 2021 2022 2023	Варіантів	0,34 0,18 0,81 0,19	4	0,08 0,05 0,20 0,05	12,18 15,32 30,32 6,56	6,39	
Середнє 2021 2022 2023	Похибка	0,06 0,02 0,05 0,08	8	0,010 0,001 0,010 0,010			2,31
Середнє 2021 2022 2023	$HP_{0,05}, \%$		2,31	0,068 0,045 0,067 0,083		0,157 0,103 0,154 0,191	

Дисперсійний аналіз даних виходу крохмалю залежно від системи удобрення (середнє за 2021–2023 рр.)

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Ступені свободи	Середній квадрат	Критерій F		t
					фактичний	теоретичний	
						$P_{0,05}$	
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	6,62 4,35 2,66 4,42	14				
Середнє 2021 2022 2023	Повторень	2,970 0,010 0,001 0,010	2				
Середнє 2021 2022 2023	Варіантів	3,53 4,22 2,53 4,21	4	0,88 1,06 0,63 1,05	59,95 73,29 39,26 41,19	6,39	
Середнє 2021 2022 2023	Похибка	0,12 0,12 0,13 0,20	8	0,01 0,01 0,02 0,03			2,31
Середнє 2021 2022 2023	$HP_{0,05}, \text{т/га}$		2,31	0,099 0,098 0,104 0,130		0,229 0,226 0,239 0,301	

**Дисперсійний аналіз даних виходу біоетанолу із зерна кукурудзи
залежно від системи удобрення (середнє за 2021–2023 рр.)**

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Ступені свободи	Середній квадрат	Критерій F		t
					фактичний	теоретичний P _{0,05}	
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	2,78 1,83 1,11 1,86	14				
Середнє 2021 2022 2023	Повторень	1,250 0,010 0,001 0,001	2				
Середнє 2021 2022 2023	Варіантів	1,48 1,77 1,06 1,77	4	0,37 0,44 0,26 0,44	59,96 73,35 39,44 41,14	6,39	
Середнє 2021 2022 2023	Похибка	0,05 0,05 0,05 0,09	8	0,01 0,01 0,01 0,01			2,31
Середнє 2021 2022 2023	NIP ₀₅ , тис. л/га		2,31	0,064 0,063 0,067 0,085		0,148 0,147 0,155 0,195	

**Дисперсійний аналіз даних вмісту крохмалю у зерні кукурудзи
залежно від способу сівби, % (середнє за 2021–2023 рр.)**

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Степені свободи	Середній квадрат	Критерій F	
					фактич- ний	теоретич- ний
						$P_{0,05}$
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	60,97 68,07 90,14 87,23	47			
Середнє 2021 2022 2023	Повторень	2,74 0,10 0,51 0,13	2			
Середнє 2021 2022 2023	Фактора А	55,71 52,74 55,54 58,67	3	18,569 17,579 18,514 19,557	871,01 81,63 23,81 31,70	9,28
Середнє 2021 2022 2023	Похибки І	0,13 1,29 4,66 3,70	6	0,021 0,215 0,777 0,617		
Середнє 2021 2022 2023	Фактора В	1,86 1,53 2,01 2,21	3	0,619 0,510 0,670 0,738	89,12 1,04 0,60 0,80	9,28
Середнє 2021 2022 2023	Взаємодії АВ	0,37 0,68 0,55 0,48	9	0,041 0,076 0,061 0,053	5,95 0,15 0,05 0,06	3,18
Середнє 2021 2022 2023	Похибка ІІ	0,17 11,73 26,86 22,03	24	0,007 0,489 1,119 0,918		

**Дисперсійний аналіз даних вмісту сирого протеїну в зерні кукурудзи
залежно від способу сівби, % (середнє за 2021–2023 рр.)**

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Степені свободи	Середній квадрат	Критерій F	
					фактич- ний	теоретич- ний
						$P_{0,05}$
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	20,91 18,29 25,79 15,56	47			
Середнє 2021 2022 2023	Повторень	2,310 0,100 0,001 0,020	2			
Середнє 2021 2022 2023	Фактора А	17,00 14,89 23,82 13,57	3	5,666 4,965 7,939 4,523	75,73 89,57 498,35 680,46	9,28
Середнє 2021 2022 2023	Похибки І	0,45 0,33 0,10 0,04	6	0,075 0,055 0,016 0,007		
Середнє 2021 2022 2023	Фактора В	0,75 0,69 0,61 0,99	3	0,251 0,232 0,205 0,329	68,06 2,89 4,75 22,07	9,28
Середнє 2021 2022 2023	Взаємодії АВ	0,31 0,34 0,22 0,59	9	0,035 0,038 0,025 0,066	9,40 0,47 0,57 4,40	3,18
Середнє 2021 2022 2023	Похибка ІІ	0,09 1,92 1,03 0,36	24	0,004 0,080 0,043 0,015		

Дисперсійний аналіз даних вмісту жиру в зерні кукурудзи залежно від способу сівби, % (середнє за 2021–2023 рр.)

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Степені свободи	Середній квадрат	Критерій F	
					фактичний	теоретичний
						$P_{0,05}$
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	2,12	47			
		1,50				
		3,07				
		0,89				
Середнє 2021 2022 2023	Повторень	0,680	2			
		0,001				
		0,020				
		0,010				
Середнє 2021 2022 2023	Фактора А	1,10	3	0,368	24,46	9,28
		1,09		0,363	336,7	
		2,00		0,666	22,27	
		0,51		0,171	39,90	
Середнє 2021 2022 2023	Похибки І	0,09	6	0,015		
		0,01		0,001		
		0,18		0,030		
		0,03		0,004		
Середнє 2021 2022 2023	Фактора В	0,02	3	0,007	1,04	9,28
		0,02		0,008	1,02	
		0,21		0,070	3,52	
		0,02		0,006	0,75	
Середнє 2021 2022 2023	Взаємодії АВ	0,07	9	0,008	1,20	3,18
		0,19		0,021	2,81	
		0,19		0,021	1,03	
		0,12		0,013	1,57	
Середнє 2021 2022 2023	Похибка ІІ	0,16	24	0,007		
		0,18		0,008		
		0,48		0,020		
		0,20		0,008		

**Дисперсійний аналіз даних виходу крохмалю із зерна кукурудзи
залежно від способу сівби, тис. т/га (середнє за 2021–2023 рр.)**

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Степені свободи	Середній квадрат	Критерій F				
					фактич- ний	теоретич- ний			
						$P_{0,05}$			
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	42,99 45,81 24,53 39,47	47						
Середнє 2021 2022 2023		6,98 0,01 0,02 0,02		2					
Середнє 2021 2022 2023		29,11 38,12 17,37 34,74			3	9,705 12,707 5,789 11,579	59,990 527,24 332,52 408,21	9,28	
Середнє 2021 2022 2023		0,97 0,14 0,10 0,17				6	0,162 0,024 0,017 0,028		
Середнє 2021 2022 2023	5,46 6,94 5,92 3,81	3	1,819 2,313 1,973 1,271				142,93 154,35 72,510 97,53		9,28
Середнє 2021 2022 2023	0,17 0,23 0,47 0,41		9	0,019 0,026 0,052 0,046			1,46 1,72 1,91 3,50		
Середнє 2021 2022 2023	0,31 0,36 0,65 0,31			24	0,013 0,015 0,027 0,013				

**Дисперсійний аналіз даних виходу біоетанолу із зерна кукурудзи
залежно від способу сівби, тис. л/га (середнє за 2021–2023 рр.)**

Рік	Джерело варіації	Сума квадратів	Степені свободи	Середній квадрат	Критерій F								
					фактич- ний	теоретич- ний							
						$P_{0,05}$							
1	2	3	4	5	6	7							
Середнє 2021 2022 2023	Загальне	18,04 19,23 10,30 16,57	47										
Середнє 2021 2022 2023		Повторень		2,93 0,01 0,01 0,01	2								
Середнє 2021 2022 2023				Фактора А		12,22 16,00 7,29 14,58	3	4,073 5,333 2,431 4,861	60,060 526,84 331,60 407,69	9,28			
Середнє 2021 2022 2023						Похибки І		0,41 0,06 0,04 0,07			6	0,068 0,010 0,007 0,012	
Середнє 2021 2022 2023	Фактора В		2,29 2,91 2,49 1,60					3				0,763 0,971 0,828 0,533	143,27 154,10 72,67 97,68
Середнє 2021 2022 2023		Взаємодії АВ	0,07 0,10 0,20 0,17		9							0,008 0,011 0,022 0,019	
Середнє 2021 2022 2023			Похибка ІІ	0,13 0,15 0,27 0,13			24		0,005 0,006 0,011 0,005				

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**1. Наукові праці, в яких опубліковані основні результати дисертації:****1.1. У наукових фахових виданнях України категорії «Б»:**

1. **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> (планування і виконання досліджень, аналіз даних, написання статті, частка участі – 50 %).

2. **Степаненко М. В.,** Грабовський М. Б. Вплив способів сівби на формування маси 1000 зерен у гібридів кукурудзи. *Таврійський науковий вісник*. 2023. № 133. С. 159-165. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.133.21>. (планування і виконання досліджень, аналіз даних, написання статті, частка участі – 60 %).

3. **Степаненко М. В.,** Грабовський М. Б. Вплив способів сівби на тривалість окремих міжфазних періодів та вегетаційного періоду кукурудзи. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: «Агрономія і біологія»*. 2023. Вип. 3 (53). С. 85-90. DOI: <https://doi.org/10.32782/agrobio.2023.3.12>. (планування і виконання досліджень, аналіз даних, написання статті, частка участі – 60 %).

4. **Степаненко М. В.** Вплив способів сівби на вміст крохмалю та білку в зерні гібридів кукурудзи. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2023. Вип. 74-2. С. 107-115. DOI: [10.32636/01308521.2023-\(74\)-2-10](https://doi.org/10.32636/01308521.2023-(74)-2-10).

5. **Степаненко М. В.** Формування площі листової поверхні кукурудзи залежно від системи удобрення. *Зернові культури*. 2023. Том 7. № 2. С. 300-306. DOI: <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0290>.

6. **Степаненко М. В.** Економічна оцінка вирощування кукурудзи на біоетанол залежно від системи удобрення. *Таврійський науковий вісник*. 2023. № 134. С. 158–164. DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.134.20>

2. Матеріали наукових конференцій, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

7. Грабовський М. Б., Степаненко М. В. Вплив способу сівби на формування продуктивності кукурудзи. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції *«Роль науково-технічного забезпечення розвитку агропромислового комплексу в сучасних ринкових умовах»*, м. Дніпро, 25 лютого, 2021 р. С. 159–161. (авторство 60 %, отримано експериментальні дані, проведено аналіз результатів, написання тез).

8. Степаненко М. В. Вплив азотного добрива, мікродобрив та регуляторів росту на ріст і розвиток рослин кукурудзи. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції *«Інноваційні технології в агрономії, землеустрої, електроенергетиці, лісовому та садово-парковому господарстві»*, м. Біла Церква, 21 жовтня 2021 року, С. 6–7.

9. Качан Л. М., Степаненко М. В. Формування біометричних показників кукурудзи залежно від способу сівби. Матеріали V Всеукраїнської наукової інтернет-конференції *«Інноваційні технології в рослинництві»*, м. Кам'янець-Подільський, 25 травня 2022 р., С. 65–66. (авторство 60 %, отримано експериментальні дані, проведено аналіз результатів, написання тез)

10. Грабовський М. Б., Степаненко М. В. Вихід біостанолу та енергії у гібридів кукурудзи різних груп стиглості. *Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції «Селекція агрокультур в умовах змін клімату: напрями та пріоритети»*, м. Одеса 30 вересня 2022 р., С. 188–190. (авторство 60 %, отримано експериментальні дані, проведено аналіз результатів, написання тез)

11. Степаненко М. В., Грабовський М. Б., Козак Л. А. Вплив азотного добрива та мікродобрив на площу листкової поверхні та фотосинтетичний потенціал посівів кукурудзи. Матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції молодих учених і спеціалістів *«Вклад наукових інвестицій у розвиток агропромислового комплексу в умовах обмеженого ресурсного забезпечення та флуктуацій клімату»*, м. Дніпро, 16-17 березня

2023 р. С. 150–151. *(авторство 40 %, отримано експериментальні дані, проведено аналіз результатів, написання тез)*

12. **Степаненко М. В.**, Грабовський М. Б. Зміна тривалості вегетаційного періоду та висоти рослин кукурудзи під впливом мінерального живлення. Збірник матеріалів II Міжнародної науково-практичної конференції «Селекція агрокультур в умовах змін клімату: напрями та пріоритети», м. Одеса, 24 березня 2023 р. С. 257–259. *(авторство 50 %, отримано експериментальні дані, проведено аналіз результатів, написання тез)*

13. **Степаненко М. В.**, Грабовський М. Б., Козак Л. А., Качан Л. М. Вихід біостанолу у гібридів кукурудзи залежно від технології вирощування. Застосування мікродобрих при вирощуванні кукурудзи на силос. Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, присвяченої до Дня науки в Україні “Формування інноваційних агротехнологій в умовах змін клімату для забезпечення сталого розвитку агропромислового комплексу України», м. Одеса, 18–19 травня 2023 р., С. 73–76. *(авторство 35 %, отримано експериментальні дані, проведено аналіз результатів, написання тез)*

14. **Степаненко М. В.**, Грабовський М. Б., Качан Л. М., Козак Л. А. Вміст крохмалю в зерні кукурудзи залежно від способу сівби. Матеріали XII Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених «Актуальні проблеми агропромислового виробництва України: виклики і шляхи розвитку в умовах війни і повоєнної відбудови», с. Оброшине, 23 листопада 2023 р., Львів-Оброшине, 2023. С. 114–115. *(авторство 40 %, отримано експериментальні дані, проведено аналіз результатів, написання тез)*

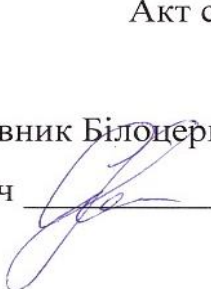
АКТ

**впровадження завершеної науково-технічного досягнення (НТД) як
результат закінченої науково-дослідної роботи (НДР)**

- 1. Назва НДР, що впроваджується:** вирощування гібриду кукурудзи СИ Зефір для виробництва біоетанолу на фоні внесення азотних добрив (N₄₀ перед сівбою) у поєднанні із мікродобривом Вуксал Р Мах у підживлення.
- 2. Якою науково-дослідною установою (вищим навчальним закладом) одержано НТД та запропоновано до впровадження, автори:** Білоцерківський національний аграрний університет, Степаненко М. В.
- 3. Ким і коли прийнято рішення про впровадження НТД:** Вченою радою Агробіотехнологічного факультету Білоцерківського національного аграрного університету (протокол №1 від 23.08.23 р.)
- 4. Назва господарства і його адреса, де проводиться впровадження:** ФГ «Пішки» Черкаської області, с.Зелена діброва, центральна 34
- 5. Рік і обсяг впровадження:** 92 га
- 6. Отримано фактичний економічний ефект від впровадження на одиницю (га, голову, машину і т.п.) і на весь обсяг впровадження:** порівняно з прийнятою в господарстві технологією вирощування кукурудзи отримано на 1 га додаткового прибутку 86350 грн.

Акт складено 30 жовтня 2023 року

Представник Білоцерківського НАУ
здобувач _____ Степаненко М. В.



Керівник господарства
_____ Петренко М.А.



АКТ

впровадження завершеної науково-технічного досягнення (НТД) як
результат закінченої науково-дослідної роботи (НДР)

1. **Назва НДР, що впроваджується:** вирощування гібридів кукурудзи для виробництва біоетанолу на фоні внесення азотних добрив (N₄₀ перед сівбою) у поєднанні із мікродобривом Вуксал Р Мах у підживлення.
2. **Якою науково-дослідною установою (вищим навчальним закладом) одержано НТД та запропоновано до впровадження, автори:** Білоцерківський національний аграрний університет, Степаненко М. В.
3. **Ким і коли прийнято рішення про впровадження НТД:** Вченою радою Агробіотехнологічного факультету Білоцерківського національного аграрного університету (протокол №1 від 23.08.23 р.)
4. **Назва господарства і його адреса, де проводиться впровадження:** ТОВ «СП Агро» Київської області, м.Миронівка, вул.Леніна буд.127
5. **Рік і обсяг впровадження:** 176 га
6. **Отримано фактичний економічний ефект від впровадження на одиницю (га, голову, машину і т.п.) і на весь обсяг впровадження:** порівняно з прийнятою в господарстві технологією вирощування кукурудзи отримано на 1 га додаткового прибутку 37950 грн.

Акт складено 1 листопада 2023 року

Представник Білоцерківського НАУ
здобувач  Степаненко М. В.

Керівник господарства
 Терення Ю.А.



АКТ

**впровадження завершеної науково-технічного досягнення (НТД) як
результат закінченої науково-дослідної роботи (НДР)**

- 1. Назва НДР, що впроваджується:** вирощування гібридів кукурудзи НК Термо (ФАО 330) та СИ Зефір (ФАО 430) для отримання біоетанолу.
- 2. Якою науково-дослідною установою (вищим навчальним закладом) одержано НТД та запропоновано до впровадження, автори:** Білоцерківський національний аграрний університет, Степаненко М. В.
- 3. Ким і коли прийнято рішення про впровадження НТД:** Вченою радою Агробіотехнологічного факультету Білоцерківського національного аграрного університету (протокол №1 від 23.08.23 р.)
- 4. Назва господарства і його адреса, де проводиться впровадження:** ТОВ «Журавське» Черкаської області, с.Журавка, вул.Леніна 22
- 5. Рік і обсяг впровадження:** 243 га
- 6. Отримано фактичний економічний ефект від впровадження на одиницю (га, голову, машину і т.п.) і на весь обсяг впровадження:** порівняно з прийнятою в господарстві технологією вирощування кукурудзи отримано на 1 га додаткового прибутку 81300 грн.

Акт складено 10 листопада 2023 року

Представник Білоцерківського НАУ
здобувач _____ Степаненко М. В.



Керівник господарства
_____ Івашенко В.Л.



АКТ

**впровадження завершеної науково-технічного досягнення (НТД) як
результат закінченої науково-дослідної роботи (НДР)**

1. **Назва НДР, що впроваджується:** вирощування кукурудзи для виробництва біоетанолу зі способом сівби за схемою 20,3×91,4 см.
2. **Якою науково-дослідною установою (вищим навчальним закладом) одержано НТД та запропоновано до впровадження, автори:** Білоцерківський національний аграрний університет, Степаненко М. В.
3. **Ким і коли прийнято рішення про впровадження НТД:** Вченою радою Агробіотехнологічного факультету Білоцерківського національного аграрного університету (протокол №1 від 23.08.23 р.)
4. **Назва господарства і його адреса, де проводиться впровадження:** СТОВ «ім.Петровського», Черкаської області, с.Таганча вул.Федоренка 100
5. **Рік і обсяг впровадження:** 74 га
6. **Отримано фактичний економічний ефект від впровадження на одиницю (га, голову, машину і т.п.) і на весь обсяг впровадження:** порівняно з прийнятою в господарстві технологією вирощування кукурудзи отримано на 1 га додаткового прибутку 35000 грн.

Акт складено 30 жовтня 2023 року

Представник Білоцерківського НАУ

здобувач  Степаненко М. В.

Керівник господарства

 Лактіонов Р.О.

