

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

СТОЦЬКИЙ ВАДИМ ВІКТОРОВИЧ

УДК 631.559+664.64.016:633.15:631.526.3]:631.816

ДИСЕРТАЦІЯ

**ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ КУКУРУДЗИ
ЗА РІЗНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ НА ЧОРНОЗЕМІ
ОПІДЗОЛЕНОМУ ПРАВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ**

201 – Агрономія

20 – Аграрні науки та продовольство

Подається на здобуття ступеня доктора філософії

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

Науковий керівник – Господаренко Григорій Миколайович, доктор сільськогосподарських наук, професор

Умань – 2025

АНОТАЦІЯ

Стоцький В. В. Особливості формування продуктивності кукурудзи за різних систем удобрення на чорноземі опідзоленому 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). – Уманський національний університет, Умань, 2025.

Кукурудза (*Zea mays* L.) є зерновою культурою, яка широко вирощується в усьому світі в різних агроекологічних середовищах. Виробництво кукурудзи вимагає збалансування взаємодіючих факторів, пов'язаних із генотипом, навколишнім середовищем і практикою вирощування культур. Оптимізація використання мінеральних добрив у системах виробництва кукурудзи є критично важливою для забезпечення прибутковості, продуктивності та екологічної стійкості.

Серед досліджуваних варіантів внесення мінеральних добрив найбільші лінійні розміри рослин кукурудзи були відмічені у варіантах досліду з внесенням високої дози азотних добрив – 275–312 см. За внесення азотних добрив у дозі 80 кг д. р./га висота рослин була дещо меншою і становила 272–305 см залежно від погодних умов вегетаційного періоду.

У середньому за три роки досліджень маса зерна в качані збільшувалась найбільше за систем, що включали азотний компонент. При цьому цей показник зростав лише на 6 % за збільшення дози азотних добрив від 80 до 160 кг/га д. р. Маса зерна качана кукурудзи за повного мінерального добрива ($N_{160}P_{60}K_{110}$) зростала на 41 % порівняно з контролем і лише на 2 % порівняно з внесенням N_{160} .

Застосування добрив достовірно збільшувало масу однієї рослини у фазу повної стиглості зерна кукурудзи. У середньому за три роки досліджень маса однієї рослини збільшувалась найбільше за систем, що включали азотний компонент. При цьому цей показник зростав лише на

18 % за збільшення дози азотних добрив від 80 до 160 кг/га д. р. Маса однієї рослини кукурудзи за повного мінерального добрива ($N_{160}P_{60}K_{110}$) зростала на 63 % порівняно з контролем і лише на 4 % порівняно з внесенням N_{160} .

Результати розрахунків свідчать, що частка зерна в вегетативній масі кукурудзи знижувалась від застосування добрив, крім фосфорно-калійної системи. За фактичної вологості цей показник у варіанті без добрив становив на рівні 42,3 % і знижувався до 38,0–41,8 % за внесення добрив з азотною складовою. При цьому за використання в обрахунках показників в абсолютно сухій масі частка зерна також мала подібну тенденцію, проте змінювалась від 44,1 до 49,0 % залежно від варіанту досліджу. Частка зерна в вегетативній масі також змінювалась упродовж років досліджень. Так, найвищою вона була в 2022 р., а найменшою в 2024 р. Частка зерна в розрахунку на абсолютно суху масу була вищою, проте мала подібну тенденцію.

У системі удобрення кукурудзи важливе значення має азотна складова від повного мінерального добрива. При цьому високу ефективність за тривалого застосування добрив має доза азотних добрив на рівні 80 кг/га д. р. Маса зерна в одному качані може змінюватись від 108,4 до 143,6 г на ділянках без добрив і від 148,9 до 193,3 г за систем удобрення з азотною складовою. При цьому частка зерна в фітомасі кукурудзи від застосування азотних добрив у різних комбінаціях знижується.

У середньому за три роки проведення досліджень на фосфорно-калійному тлі кількість зерен у качані кукурудзи збільшується на 20 шт. або на 5 %, тоді як у варіантах досліджу N_{80} і N_{160} – відповідно на 26 % і 29 %. В інших варіантах досліджу з удобренням цей показник у межах 549–564 шт. або змінюється лише на 3 %.

У варіанті досліджу без добрив найнижча маса 1000 зерен кукурудзи (287 г) формується в умовах 2022 року, а найвища – на 52 г в 2023 році. Такі ж закономірності спостерігалися і в інших варіантах досліджу.

З основних елементів живлення на тлі застосування парних їх

комбінацій у середньому за три роки проведення досліджень має поліпшення азотного живлення рослин кукурудзи – маса 1000 зерен збільшується на 12 г або на 7 %. Фосфорна й калійна складові повного мінерального добрива ($N_{160}P_{60}K_{110}$) сприяє підвищенню цього показника лише на 5 г або на 1 %.

На тлі зменшеної удвічі дози внесення повного мінерального добрива (варіант $N_{80}P_{30}K_{55}$) зниження маси 1000 зерен незначне – лише на 3 %. Зменшення в складі повного мінерального добрива частки фосфору й калію в складі повного мінерального добрива в усі роки проведення досліджень не має істотного впливу на цей показник.

Урожайність та якість зерна кукурудзи достовірно змінюється залежно від видів і доз добрив, рівень прояву яких визначається погодними умовами. У середньому за три роки досліджень урожайність збільшується від 10,36 до 14,73 т/га залежно від варіанту дослідів. За внесення N_{80} цей показник збільшується до 13,53 т/га або на 31 % порівняно з ділянками без добрив. У варіанті з подвійною дозою азотних добрив урожайність становить 14,38 т/га або більше на 39 %. Необхідно відзначити, що врожайність при цьому лише на 6 % є більшою порівняно з внесенням N_{80} . За внесення половини від повного мінерального добрива збільшує врожайність до 13,84 т/га або на 34 % порівняно з контролем. За внесення повного мінерального добрива вона збільшується до 14,73 т/га або на 42 %. Необхідно відзначити, що при цьому врожайність лише на 2 % більша порівняно з азотними системами.

Урожайність зерна кукурудзи за вирощування на азотно-калійній, азотно-фосфорній системі та з неповним поверненням фосфорних і калійних добрив на рівні варіанту з повним поверненням елементів живлення.

Найменше на врожайність кукурудзи впливає застосування фосфорних і калійних добрив. Як у середньому, так і за роки проведення досліджень урожайність збільшується недостовірно порівняно з варіантом без добрив.

У середньому за три роки досліджень вміст крохмалю в зерні кукурудзи знижувався від внесення добрив. Так, у варіанті без добрив його вміст становить 71,8 %, а за вирощування кукурудзи на системах, що містять азотну складову знижується до 70,9–71,4 %.

Застосування удобрення значно впливає на формування вмісту білка в зерні кукурудзи. Так, у середньому за три роки вміст білка зростає від 6,5 до 8,3 % за внесення N_{80} і до 8,6 % у варіанті N_{160} . Застосування найбільшої дози азотних добрив з різним поверненням фосфорних і калійних добрив сприяє підвищенню вмісту білка до 9,1–9,2 %, що свідчить про синергізм між основними елементами живлення.

У Правобережному Лісостепу доцільно застосовувати $N_{80}P_{30}K_{55}$, що забезпечує формування 11,82–15,72 т/га зерна з вмістом крохмалю 70,7–72,1 %, його збір – 8,42–11,11 т/га, вмістом білка – 7,1–9,2 %, його збір – 0,84–1,45 т/га.

Кукурудза накопичує в надземній біомасі (зерно й стебелиння) значну кількість азоту – від 90,2 до 319,9 кг/га залежно від погодних умов року та особливостей удобрення. Найбільше на зміну цього показника впливає удобрення. Так, у середньому за три роки проведення досліджень на ділянках з внесенням повного мінерального добрива (варіант $N_{160}P_{60}K_{110}$) порівняно з неудобреними господарське винесення азоту підвищується в два рази. Найбільше на винесення азоту надземною біомасою кукурудзи впливає азотна складова повного добрива, потім фосфорна й калійна, відповідно підвищуючи його на тлі парних їх комбінацій на 81 %, 10 і 9 %. Зі зниженням дози повного мінерального добрива до $N_{80}P_{30}K_{55}$ господарське винесення азоту зменшується в 1,2 рази.

Види мінеральних добрив і дози їх внесення по-різному впливають на винесення калію різними частинами урожаю кукурудзи. Так, внесення лише азотних добрив у дозі 80 і 160 кг/га д. р. сприяє підвищенню винесення калію на 32–44 % зерном і на 34–65 % – стебелинням. Фосфорні добрива, внесені в дозі 60 кг/га д. р., на азотно-калійному тлі ($N_{160}K_{110}$) сприяють

підвищенню винесення калію зерном і стебелінням на 6 %. Найбільше винесення калію збільшує внесення калійних добрив на тлі $N_{160}P_{60}$ – на 15 % і 9 % відповідно зерном і стебелінням. За зниження частки калійних добрив у складі повного мінерального добрива ($N_{160}P_{60}K_{110}$) вдвічі – до 55 кг/га д. р., зменшується винесення калію зерном і стебелінням відповідно на 5 % і 2 %.

Винесення азоту одиницею продукції урожаю кукурудзи залежить як від погодних умов, так і від удобрення. У середньому за три роки проведення досліджень винесення азоту з 1 т зерна було 10,8–15,3 кг і збільшується з поліпшенням мінерального живлення рослин, у першу чергу азотного.

З 1 т стебеління кукурудза виносить з ґрунту незначну кількість азоту – 3,5–4,4 кг залежно від удобрення. Показник відносного винесення азоту зерном і відповідною кількістю соломи у середньому становить 14,4–20,9 кг/т і в основному залежав від рівня азотного живлення, створеного внесенням різних доз азотних добрив.

Винесення калію з 1 т зерна кукурудзи незначне – 3,6–4,2 кг, тоді як стебелінням – 12,2–13,0 кг/т залежно від удобрення. Ці показники змінюються неістотно залежно від погодних умов. Показник відносного винесення калію зерном і відповідною кількістю стебеління в проведеному досліді в межах 16,6–23,5 кг/т, а залежно від системи застосування добрив – 17,1–21,4 кг/т й підвищується завдяки поліпшенню в першу чергу азотного живлення рослин кукурудзи.

У варіантах досліді, що передбачають зменшення дози внесення фосфору й калію в складі повного мінерального добрива – $N_{160}P_{30}K_{55}$, $N_{160}P_{60}K_{55}$ і $N_{160}P_{30}K_{110}$ коефіцієнт використання азоту з добрив кукурудзою знижується на 2,5–4,4 % за показника з повною їх дозою 71,6 % (варіант $N_{160}P_{60}K_{110}$).

Коефіцієнт використання фосфору залежно від дози фосфорних добрив і їх поєднання з азотними і калійними у середньому за роки проведення досліджень 16,1–31,3 %, а залежно від гідротермічних умов вегетаційного

періоду та особливостей удобрення змінюється в межах 10,0–50,2 %.

Низький коефіцієнт використання калію з добрив перш за все можна пояснити значним задоволенням рослин калієм з ґрунтових запасів. Залежно від погодних умов і особливостей удобрення цей показник змінюється від 10,1 до 45,8 % і був найвищим (36,4 %) у середньому за три роки проведення досліджень у варіанті досліді $N_{160}P_{60}K_{55}$.

Найкраще, з найменшим дефіцитом, баланс азоту складається в усіх варіантах досліді з внесенням азотних добрив у дозі 160 кг/га д. р. За внесення повного мінерального добрива у таких варіантах за умови залишення стебелиння на полі на добриво дефіцит азоту складає –31,3...–36,0 кг/га, а найбільший був на фосфорно-калійному тлі – -106,3 кг/га. Видалення стебелиння з поля значно погіршує баланс азоту. Навіть у варіанті досліді з внесенням $N_{80}P_{30}K_{55}$ він складається різко дефіцитним – -142,0 кг/га. Це свідчить про значне збіднення ґрунту на азот.

Найліпшою є інтенсивність балансу калію за умови залишення стебелиння кукурудзи на полі та внесення калійних добрив у дозі 55 і 110 кг/га д. р. – 110,2–299,7 % залежно від варіанту досліді. Це показує, що на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому значну частину калію для формування врожаю кукурудза може взяти із ґрунту.

За умови видалення стебелиння з поля лише у варіанті досліді $P_{60}K_{110}$ інтенсивність балансу фосфору 100,0 %. За інших систем удобрення й за іншими елементами живлення (азотом і фосфором) вона менша – 21,7–70,4 %.

Найвищу окупність 1 кг д. р. мінеральних добрив ($N + P_2O + K_2O$) у середньому за три роки проведення досліджень забезпечує варіант досліді $N_{80}P_{30}K_{55}$ – 21,1 кг, що на 16,5 кг вище порівняно з варіантом $P_{60}K_{110}$, на 6 – з варіантом $N_{160}K_{110}$ і на 2,1 кг – з варіантом $N_{160}P_{60}$. Зменшення дози фосфорних і калійних добрив у складі повного мінерального добрива ($N_{160}P_{60}K_{110}$) сприяє підвищенню окупності 1 кг $N + P_2O + K_2O$ з 13,2 кг до 13,9–16,7 кг, або на 5–27 %.

Чистий енергетичний дохід від застосування добрив під кукурудзу в межах 45,2–54,7 ГДж/га, за виключенням варіанту дослід з внесенням лише фосфорних і калійних добрив (варіант $P_{60}K_{110}$), де він значно нижчий – 9,6 ГДж/га. Зменшення в складі повного мінерального добрива ($N_{160}P_{60}K_{110}$) фосфорних і калійних добрив удвічі (варіант дослід $N_{160}P_{30}K_{55}$) викликало зниження чистого енергетичного доходу на 3,1 ГДж/га або на 6 %, тоді як лише фосфорних або калійних добрив – відповідно на 3 і 4 %.

Найвищий коефіцієнт енергетичної ефективності застосування добрив під кукурудзу забезпечує варіант дослід N_{80} – 6,53, тоді як за інших систем удобрення він був у межах 2,84–5,64. При цьому необхідно відзначити кращий варіант дослід $N_{80}P_{30}K_{55}$ з показником енергетичної ефективності 5,64.

Найвищий рівень рентабельності за умовно чистим прибутком забезпечують варіанти дослід з внесенням під кукурудзу лише азотних добрив, а також внесення половинної дози добрив від виробничого контролю ($N_{80}P_{30}K_{55}$). Високий рівень рентабельності застосування добрив – 103 % також у варіанті дослід без застосування калійних добрив – $N_{160}P_{60}$. Зниження дози внесення фосфорних і калійних добрив у складі повного мінерального добрива ($N_{160}P_{60}K_{110}$) – варіанти дослід $N_{160}P_{30}K_{55}$, $N_{160}P_{30}K_{110}$ і $N_{160}P_{60}K_{55}$ сприяють підвищенню рівня рентабельності їх застосування відповідно на 59 %, 25 і 15 %.

Найвищий індекс комплексного оцінювання (ІКО) забезпечує внесення під кукурудзу добрив у дозі 80 і 160 кг д. р./га – відповідно 0,82 і 0,86, а найнижчий цей показник за внесення лише фосфорних і калійних добрив (варіант $P_{60}K_{110}$) – 0,41. Звертає на себе увагу варіант дослід $N_{160}P_{60}$, де ІКО становить 0,79, що значно вище порівняно з варіантом дослід $N_{160}K_{110}$ та іншими варіантами дослід з внесенням повного мінерального добрива.

В умовах Правобережного Лісостепу на чорноземі опідзоленому для отримання високого врожаю зерна кукурудзи з урахуванням економічної,

агрохімічної, енергетичної ефективності та інтенсивності балансу основних елементів живлення в ґрунті застосовувати $N_{80}P_{30}K_{55}$ за умови вирощування після пшениці озимої в чотирипільній сівозміні та залишення на полі нетоварної продукції урожаю культур.

Ключові слова: удобрення, дози мінеральних добрив, види добрив, кукурудза, показники росту рослин, урожайність, якість зерна, господарське винесення, відносне винесення, елементи живлення, інтенсивність балансу.

ABSTRACT

Stotskyi V. V. Peculiarities of corn productivity formation under different fertilizer systems on podzolized chernozem of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. – Qualifying scientific work on manuscript rights.

Dissertation for the degree of Philosophy Doctor in 201 "Agronomy" speciality (20 – Agricultural Sciences and Food). – Uman National University of Horticulture, Uman, 2025.

Corn (*Zea mays* L.) is a cereal crop that is widely grown worldwide in various agro-ecological environments. Corn production requires balancing interacting factors related to genotype, environment, and cropping practices. Optimizing the use of mineral fertilizers in corn production systems is critical to ensure profitability, productivity and environmental sustainability.

Among the studied variants of applying mineral fertilizers, the largest linear dimensions of corn plants were noted in the variants of the experiment with the application of a high dose of nitrogen fertilizers – 275–312 cm. Under the application of nitrogen fertilizers at a dose of 80 kg of active ingredient/ha, the height of the plants was somewhat lower and was 272–305 cm depending on the weather conditions of the growing season.

On average, over the three years of research, the grain mass in the cob increased the most under systems that included nitrogen component. At the same time, this indicator increased by only 6 % with an increase in the dose of nitrogen fertilizers from 80 to 160 kg/ha of active ingredient. The mass of corn cob grain under complete mineral fertilizer ($N_{160}P_{60}K_{110}$) increased by 41 % compared to the control and only by 2 % compared to the application of N_{160} .

The application of fertilizers significantly increased the mass of one plant in the full ripeness stage of corn grain. On average, over the three years of research, one plant mass increased the most in systems that included a nitrogen component. Moreover, this indicator increased by only 18 % with an increase in the dose of nitrogen fertilizers from 80 to 160 kg/ha of active ingredient. The mass

of one corn plant with complete mineral fertilizer ($N_{160}P_{60}K_{110}$) increased by 63 % compared to the control and only by 4 % compared to the application of N_{160} .

The results of the calculations indicate that the share of grain in the vegetative corn mass decreased with the use of fertilizers, except for the phosphorus-potassium system. At the actual humidity, this indicator in the variant without fertilizers was at the level of 42.3 % and decreased to 38.0–41.8 % with the application of fertilizers with a nitrogen component. At the same time, when using absolute dry mass indicators in calculations, the share of grain also had a similar trend. But it varied from 44.1 to 49.0 % depending on the experiment variant. Grain share in the vegetative mass also changed over the years of research. Thus, it was the highest in 2022, and the lowest in 2024. Grain share in terms of absolute dry mass was higher, but had a similar trend.

In the corn fertilizer system, the nitrogen component from a complete mineral fertilizer is important. At the same time, a dose of nitrogen fertilizers at the level of 80 kg/ha active ingredient has high efficiency with long-term application of fertilizers. Grain mass in one cob can vary from 108.4 to 143.6 g in areas without fertilizers and from 148.9 to 193.3 g in nitrogen fertilizer systems. At the same time, the share of grain in the corn phytomass decreases due to the use of nitrogen fertilizers in various combinations.

On average, during the three years of conducting research on phosphorous-potassium background, the number of grains in a corn cob increases by 20 pcs or by 5 %, while in the N_{80} and N_{160} experiment variants – by 26 % and 29 %, respectively. In other experiment variants with fertilizer, this indicator is within 549–564 pcs or changes by only 3 %.

In the experiment variant without fertilizers, the lowest mass of 1000 corn grains (287 g) is formed in the conditions of 2022, and the highest – by 52 g in 2023. The same regularities were observed in other experiment variants.

Of the main nutrients, against the background of the use of paired combinations, on average over the three years of research, there is an improvement in the nitrogen nutrition of corn plants – the mass of 1000 grains

increases by 12 g or 7 %. The phosphorus and potassium components of complete mineral fertilizer ($N_{160}P_{60}K_{110}$) contribute to increasing this indicator by only 5 g or 1 %.

Against the background of a halved dose of complete mineral fertilizer application ($N_{80}P_{30}K_{55}$ variant), the decrease in the mass of 1000 grains is insignificant – only 3 %. The decrease in the proportion of phosphorus and potassium of the complete mineral fertilizer in all research years does not have a significant effect on this indicator.

The yield and quality of corn grain significantly changes depending on the types and doses of fertilizers, the level of which is determined by weather conditions. On average, over the three research years, the yield increases from 10.36 to 14.73 t/ha depending on the experiment variant. When applying N_{80} , this indicator increases to 13.53 t/ha or by 31 % compared to areas without fertilizers. In the variant with a double dose of nitrogen fertilizers, the yield is 14.38 t/ha or more by 39 %. It should be noted that the yield is only 6 % higher compared to the application of N_{80} . When applying half of the complete mineral fertilizer, the yield increases to 13.84 t/ha or by 34 % compared to the control. With complete mineral fertilizer application, it increases to 14.73 t/ha or by 42 %. It should be noted that the yield is only 2 % higher compared to nitrogen systems.

The yield of corn grain when grown on a nitrogen-potassium, nitrogen-phosphorus system and with incomplete return of phosphorus and potassium fertilizers is at the level of the variant with full return of nutrients. The use of phosphorus and potassium fertilizers has the least effect on corn yield. Both on average and over the research years, the yield increases insignificantly compared to the option without fertilizers.

On average, over the three years of research, the starch content in corn grains decreased as a result of fertilizer application. For example, in the variant without fertilizers, its content is 71.8 %, and when growing corn on systems containing the nitrogen component, it decreases to 70.9–71.4 %.

Fertilizer application significantly affects the formation of protein content in

corn grain. Thus, on average, over three years, the protein content increases from 6.5 to 8.3 % with N_{80} application and up to 8.6 % with the application of N_{160} . The use of the largest dose of nitrogen fertilizers with different returns of phosphorus and potassium fertilizers contributes to an increase in protein content to 9.1–9.2 % which indicates synergism between the main nutrients.

In the Right-Bank Forest-Steppe, it is advisable to use $N_{80}P_{30}K_{55}$ which ensures the formation of 11.82–15.72 t/ha of grain with a starch content of 70.7–72.1 %, its yield – 8.42–11.11 t/ha; protein content – 7.1–9.2 %, its yield – 0.84–1.45 t/ha.

Corn accumulates a significant amount of nitrogen in the above-ground biomass (grain and stalks) – from 90.2 to 319.9 kg/ha depending on the weather conditions of the year and the fertilizer characteristics. Fertilizer has the greatest effect on the change in this indicator. Thus, on average, over the three years of research on areas with complete mineral fertilizer application ($N_{160}P_{60}K_{110}$ variant), compared to unfertilized ones, the economic removal of nitrogen increases by two times. Nitrogen removal by above-ground corn biomass is most influenced by the nitrogen component of complete fertilizer, followed by phosphorus and potassium, increasing it against the background of their paired combinations by 81 %, 10 and 9 %, respectively. With a decrease in the dose of complete mineral fertilizer to $N_{80}P_{30}K_{55}$, the economic removal of nitrogen decreases by 1.2 times.

The types of mineral fertilizers and the doses of their application have different effects on potassium removal by different parts of the corn yield. Thus, the application of only nitrogen fertilizers at a dose of 80 and 160 kg/ha of active ingredient contributes to an increase in potassium removal by 32–44 % through grain and by 34–65 % through stalks. Phosphorus fertilizers applied at a dose of 60 kg/ha of active ingredient against a nitrogen-potassium background ($N_{160}K$) contribute to an increase in potassium removal by grain and stalks by 6 %. The highest application of potassium increases the application of potassium fertilizers on the background of $N_{160}P_{60}$ – by 15 % and 9 %, respectively, with grain and

stalk. By reducing the share of potassium fertilizers in the composition of complete mineral fertilizer ($N_{160}P_{60}K_{110}$) by half – to 55 kg/ha of active ingredient, the removal of potassium by grain and stalks decreases by 5 % and 2 %, respectively.

Nitrogen removal per unit of production of the corn crop depends on both weather conditions and fertilizer. On average, over the three years of research, nitrogen removal from 1 ton of grain was 10.8–15.3 kg and increased with improved plant mineral nutrition, primarily nitrogen.

From 1 ton of stalks, corn removes a small amount of nitrogen from the soil – 3.5–4.4 kg depending on the fertilizer. The relative nitrogen removal indicator by grain and the corresponding amount of straw averaged 14.4–20.9 kg/t and mainly depended on the level of nitrogen nutrition created by applying different doses of nitrogen fertilizers.

Potassium removal from 1 ton of corn grain is insignificant – 3.6–4.2 kg, while by staking – 12.2–13.0 kg/t depending on the fertilizer. These indicators vary insignificantly depending on weather conditions. The relative potassium removal indicator by grain and the corresponding number of stalks in the conducted experiment is within 16.6–23.5 kg/t, and depending on the fertilizer application system – 17.1–21.4 kg/t and increases primarily due to the improvement of nitrogen nutrition of corn plants.

In the experiment variants that involve reduction in the dose of phosphorus and potassium in the composition of the complete mineral fertilizer – $N_{160}P_{30}K_{55}$, $N_{160}P_{60}K_{55}$ and $N_{160}P_{30}K_{110}$, the coefficient of nitrogen use from fertilizers by corn decreases by 2.5–4.4 % compared to the indicator with their full dose of 71.6 % ($N_{160}P_{60}K_{110}$).

Phosphorus utilization coefficient, averaged over the years of research 16.1–31.3 %, depending on the dose of phosphorus fertilizers and their combination with nitrogen and potassium fertilizers, and depending on the hydrothermal conditions of the growing season and fertilizer characteristics, it varies within 10.0–50.2 %.

The low coefficient of potassium use from fertilizers can primarily be explained by the significant satisfaction of plants with potassium from soil reserves. Depending on weather conditions and fertilizer characteristics, this indicator varies from 10.1 to 45.8 % and was the highest (36.4 %) on average over the three years of research in $N_{160}P_{60}K_{55}$ variant.

The best, with the smallest deficit, is nitrogen balance in all experiment variants with the application of nitrogen fertilizers at a dose of 160 kg/ha of active ingredient. When applying complete mineral fertilizer in such variants, on condition that the stalks are left on the field for fertilizer, the nitrogen deficit is -31.3...-36.0 kg/ha, and the largest was on the phosphorus-potassium background – -106.3 kg/ha. Removing stalks from the field significantly aggravates the nitrogen balance. Even in the experiment variant with the application of $N_{80}P_{30}K_{55}$, it is sharply deficient – -142.0 kg/ha. This indicates a significant soil depletion in terms of nitrogen.

The best intensity of potassium balance is – 110.2–299.7 % on condition that corn stalks are left on the field and potassium fertilizers are applied at a dose of 55 and 110 kg/ha of active ingredient depending on the experiment variant. This shows that on podzolized heavy loam chernozem, a significant part of potassium for crop formation can be taken from the soil by corn.

Under the condition of removing stalks from the field only in the $P_{60}K_{110}$ experiment variant, the phosphorus balance intensity is 100.0 %. With other fertilizer systems and other nutrients (nitrogen and phosphorus), it is lower – 21.7–70.4 %.

The highest payback of 1 kg of mineral fertilizers ($N+P_2O+K_2O$) on average over the three years of research is provided by the experiment variant $N_{80}P_{30}K_{55}$ – 21.1 kg, which is 16.5 kg higher compared to the $P_{60}K_{110}$ variant, 6 – with the $N_{160}K_{110}$ variant and 2.1 kg – with the $N_{160}P_{60}$ variant. Reducing the dose of phosphorus and potassium fertilizers in the composition of complete mineral fertilizer ($N_{160}P_{60}K_{110}$) helps to increase the payback of 1 kg of $N+P_2O+K_2O$ from 13.2 kg to 13.9–16.7 kg, or by 5–27 %.

Net energy income from fertilizer application to corn is within 45.2–54.7 GJ/ha, excluding the experiment variant with the application of only phosphorus and potassium fertilizers ($P_{60}K_{110}$ variant), where it is significantly lower – 9.6 GJ/ha. The reduction in the composition of complete mineral fertilizer ($N_{160}P_{60}K_{110}$) of phosphorus and potassium fertilizers by half (the $N_{160}P_{30}K_{55}$ experiment variant) caused a decrease in net energy income by 3.1 GJ/ha or by 6 %, whereas only phosphorus or potassium fertilizers – by 3 and 4 %, respectively.

The highest coefficient of energy efficiency of fertilizer application to corn is provided by the N_{80} experiment variant – 6.53, while for other fertilizer systems it was within 2.84–5.64. It is necessary to indicate the best variant of the experiment $N_{80}P_{30}K_{55}$ with an energy efficiency index of 5.64.

The highest level of profitability in terms of conditional net profit is provided by the experiment options with the application of only nitrogen fertilizers to corn, as well as applying a half dose of fertilizers from production control ($N_{80}P_{30}K_{55}$). High level of profitability of fertilizer application – 103 % also in the experiment variant without the use of potassium fertilizers – $N_{160}P_{60}$. Reduction in the dose of phosphorus and potassium fertilizers in the composition of complete mineral fertilizer ($N_{160}P_{60}K_{110}$) – $N_{160}P_{30}K_{55}$, $N_{160}P_{30}K_{110}$ and $N_{160}P_{60}K_{55}$ experimental variants contribute to increasing profitability level of their use by 59 %, 25 and 15 %, respectively.

The highest comprehensive assessment index (CAI) is provided by applying fertilizers to corn at a dose of 80 and 160 kg of active ingredient/ha – 0.82 and 0.86, respectively, and the lowest indicator is provided by applying only phosphorus and potassium fertilizers ($P_{60}K_{110}$ variant) – 0.41. The $N_{160}P_{60}$ experiment variant draws attention, where the CAI is 0.79 which is significantly higher compared to the $N_{160}K_{110}$ experiment variant and other variants of the experiment with the introduction of full mineral fertilizer.

In the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe on podzolized chernozem, to obtain a high yield of corn grain, taking into account economic, agrochemical,

energy efficiency and the intensity of basic nutrient balance in the soil, $N_{80}P_{30}K_{55}$ should be used, provided that it is grown after winter wheat in a four-field crop rotation.

Key words: fertilizers, doses of mineral fertilizers, types of fertilizers, corn, plant growth indicators, yield, grain quality, economic yield, relative yield, nutrients, balance intensity.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у фахових виданнях України

1. Стоцький В. В. Урожайність та якість зерна кукурудзи за різних видів і доз добрив. *Збірник Уманського НУС*. 2024. Вип. 105. С. 312–323.
2. Стоцький В. В. Індивідуальна продуктивність кукурудзи за різних видів і доз добрив. *Таврійський науковий вісник*. 2024. № 140. С. 278–284.
3. Стоцький В. В. Засвоєння основних елементів живлення кукурудзою за різних видів і доз добрив. *Аграрні інновації*. 2024. № 28. С. 104–110.

Матеріали науково-практичних конференцій

4. Стоцький В. Формування врожаю кукурудзи за різних погодних умов та удобрення. *Актуальні питання сучасної аграрної науки : матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції* (м. Умань, 10 грудня 2021 р.). Умань : УНУС, 2021. С. 67–69.
5. Любич В. В., Господаренко Г. М., Стоцький В. В. Урожайність кукурудзи за різних доз і поєднань мінеральних добрив. *Актуальні питання агротехнологій : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції* (м. Умань, 25 жовтня 2022 р.). Умань : УНУС, 2022. С. 42–44.
6. Господаренко Г., Стоцький В. Формування врожаю кукурудзи за різного удобрення в польовій сівоzmіні. *Матеріали Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. «Рубіновські читання»* (16 травня 2023 р., Умань). Умань : Редакційно-видавничий відділ Уманського НУС, 2023. С. 19–20.
7. Господаренко Г., Стоцький В., Кулеша А. Урожайність кукурудзи залежно від видів мінеральних добрив і їх поєднань у польовій сівоzmіні. *Матер. Всеукр. наук.-практ. конф. «Рубіновські читання» приуроченої до 180-річчя від дня заснування Уманського національного університету садівництва* (16 травня, м. Умань). Умань : УНУС, 2024. С. 7–8.

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	21
РОЗДІЛ 1	
ЕФЕКТИВНІСТЬ ВНЕСЕННЯ ДОБРИВ ПІД КУКУРУДЗУ (огляд літератури)	26
1.1	26
Вплив застосування добрив на ріст і розвиток рослин кукурудзи	
1.2	34
Урожайність кукурудзи залежно від удобрення	
1.3	38
Формування якості зерна кукурудзи за різного удобрення	
РОЗДІЛ 2	
УМОВИ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	44
2.1	44
Ґрунтово-кліматичні та погодні умови	
2.2	49
Методика проведення досліджень	
РОЗДІЛ 3	
РІСТ І РОЗВИТОК РОСЛИН КУКУРУДЗИ ЗА РІЗНИХ ВИДІВ І ДОЗ ДОБРИВ	54
3.1	54
Висота рослин	
3.2	59
Індивідуальна продуктивність рослин кукурудзи	
РОЗДІЛ 4	
ПРОДУКТИВНІСТЬ КУКУРУДЗИ ЗА РІЗНИХ ВИДІВ І ДОЗ ДОБРИВ	70
4.1	70
Формування врожайності зерна та стебел	
4.2	78
Якість зерна кукурудзи	
РОЗДІЛ 5	
ОСОБЛИВОСТІ ЗАСВОЄННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ЖИВЛЕННЯ КУКУРУДЗОЮ ЗА РІЗНИХ ВИДІВ І ДОЗ ДОБРИВ	86
5.1	88
Вміст основних елементів живлення в зерні та стеблах	
5.2	103
Винесення основних елементів живлення з урожаєм і баланс їх у ґрунті	

РОЗДІЛ 6	АГРОХІМІЧНЕ, ЕНЕРГЕТИЧНЕ ТА ЕКОНОМІЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РІЗНИХ ВИДІВ І ДОЗ ДОБРИВ ПІД КУКУРУДЗУ	133
	ВИСНОВКИ	144
	РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ	152
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	153
	ДОДАТКИ	175

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. Кукурудза (*Zea mays* L.) є зерновою культурою, яка широко вирощується в усьому світі в різних агроекологічних середовищах. Виробництво кукурудзи вимагає збалансування взаємодіючих факторів, пов'язаних із генотипом, навколишнім середовищем і практикою вирощування культур. Оптимізація використання мінеральних добрив у системах виробництва кукурудзи є критично важливою для забезпечення прибутковості, продуктивності та екологічної стійкості. Зерно кукурудзи є основним джерелом енергії, білка, вітамінів і мінеральних елементів у напівзасушливих умовах. Кукурудза має цілу низку господарсько-цінних властивостей, які відсутні в інших злакових культур. До таких відносять посухо- і жаростійкість, високу адаптивну здатність до умов вирощування, високу стійкість до шкідників і хвороб тощо. Зерно використовують для виробництва низки зернопродуктів і комбікормів. Крім цього, зерно містить 77,9–82,0 % вуглеводів, з яких 75,8–79,7 крохмаль, 13,0–14,3 % білка, 1,2–1,8 – жиру, 2,50–2,98 % харчових волокон. Кукурудза має високу реакцію на застосування добрив, проте ефективність застосування їх залежить від багатьох чинників, що вимагає проведення додаткових досліджень. Тому встановлення оптимальної дози добрив за вирощування кукурудзи є актуальним.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Основу дисертації становлять матеріали науково-дослідної роботи, які входили до програми наукових досліджень Уманського НУС «Збалансоване використання, прогноз і управління природним та ресурсним потенціалом агроecosистем України» (2021–2025 рр., номер державної реєстрації 0121U112521) за тематикою кафедри агрохімії і ґрунтознавства «Забезпечення раціонального використання ґрунтових ресурсів та управління мінеральним живленням сільськогосподарських культур», а також у ПНД НААН 1 «Ґрунтові ресурси України: інформаційне

забезпечення, раціональне використання, менеджмент, технології» 01.03.02.01. Ф. «Удосконалити теоретичне підґрунтя інформаційно-методичного забезпечення сталого управління азотним, фосфорним і калійним живленням сільськогосподарських культур» за темою «Особливості формування продуктивності кукурудзи за різного удобрення на чорноземі опідзоленому».

Мета і завдання досліджень. Мета досліджень – вивчення впливу різних видів і доз мінеральних добрив, внесених у різним поєднаннях на одиницю площі на фізіолого-біохімічні процеси у рослинах кукурудзи та їх вплив на формування врожаю за можливого зниженого хімічного навантаження на навколишнє природне середовище й розроблення системи удобрення для відновлення родючості ґрунту та одержання стабільних урожаїв.

Для досягнення мети поставлено такі **завдання**:

- визначити вплив удобрення на показники росту та розвитку рослин кукурудзи;
- встановити вплив удобрення на формування індивідуальної продуктивності кукурудзи;
- з’ясувати вплив тривалого застосування мінеральних добрив на формування врожайності та якості зерна кукурудзи;
- розрахувати винесення основних елементів живлення кукурудзою залежно від системи удобрення;
- провести агрохімічне, енергетичне та економічне оцінювання ефективності застосування добрив у чотирипільній сівозміні під кукурудзу.

Об’єкт досліджень – вплив різних систем удобрення на показники росту та розвитку рослин, урожайність та якість зерна та баланс основних елементів живлення в ґрунті.

Предмет дослідження – удосконалення системи удобрення кукурудзи в умовах Правобережного Лісостепу за різних видів і доз мінеральних добрив у чотирипільній сівозміні.

Методи досліджень. Для реалізації визначених завдань дослідження використано комплекс загальноприйнятих і спеціальних методів, спрямованих на отримання об'єктивних результатів: польові (визначення параметрів показників росту рослин і врожайності зерна, відбирання зразків ґрунту та рослин), лабораторні (підготовка досліджуваного матеріалу для аналізування основних елементів живлення в зерні та стеблах, біохімічної складової зерна), аналітичні (аналіз процесу формування продуктивності кукурудзи залежно від удобрення та взаємозв'язків між ними), інформаційні (огляд досліджуваних заходів у науковій літературі, оброблення і поширення наукової інформації), статистичні (дисперсійний аналіз для визначення достовірності отриманих результатів досліджень, кореляційний і регресійний аналіз), а також економічний, агрохімічний та енергетичний. Хімічні та фізико-хімічні аналізи проводили стандартизованими і загальноприйнятими методами з використанням сертифікованих приладів в атестованій лабораторії масових аналізів Уманського національного університету садівництва.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у встановленні загальних закономірностей формування продуктивності кукурудзи залежно від удобрення в чотирипільній сівоzmіні.

Уперше

визначено формування показників продуктивності кукурудзи за різних видів і доз добрив у чотирипільній сівоzmіні з урахуванням сучасних змін погодних умов. Встановлено параметри господарського, відносного винесення основних елементів живлення, коефіцієнти їх використання, баланс та його інтенсивність за різного удобрення та погодних умов.

Науково доведено, що застосування $N_{80}P_{30}K_{55}$ забезпечує формування 11,82–15,72 т/га зерна з вмістом крохмалю 70,7–72,1 %, його збір – 8,42–11,11 т/га, вмістом білка – 7,1–9,2 %, його збір – 0,84–1,45 т/га залежно від погодних умов. За внесення $N_{160}P_{60}K_{110}$ врожайність зерна кукурудзи збільшується лише до 12,66–16,82 т/га.

Урожайність зерна кукурудзи за вирощування на азотно-калійній, азотно-фосфорній системі та з неповним поверненням фосфорних і калійних добрив на рівні варіанту з повним поверненням елементів живлення.

Удосконалено систему удобрення кукурудзи у чотирипільній сівозміні з урахуванням економічної, агрохімічної та енергетичної оцінки.

Дістало подальшого розвитку можливість зниження доз мінеральних добрив та економного внесення фосфорних і калійних за тривалого застосування добрив.

Практичне значення отриманих результатів полягає в уточненні показників відносного винесення основних елементів живлення кукурудзою та коефіцієнтів їх використання з добрив. Визначено інтенсивність балансу різних систем удобрення в польовій сівозміні та параметри окупності 1 кг мінеральних добрив зерном з урахуванням змін погодних умов. Удосконалено систему удобрення кукурудзи у чотирипільній сівозміні. Встановлено, що в 4-пільній сівозміні після сої економічно доцільно застосувати $N_{80}P_{30}K_{55}$.

Основні результати дослідження впроваджено в ПОП «Соколівка» с. Соколівка Уманського району Черкаської області на площі 110 га (акт від 04.03.2025 р.), в ПП «АРТБУДІНВЕСТ» на площі 80 га (акт від 06.03.2025 р.).

Особистий внесок здобувача. Наукові положення, що виносяться на захист кандидатської дисертації, отримано в процесі науково-дослідної роботи здобувача. Особистий внесок полягає у формуванні мети і завдань досліджень, узагальненні відомостей з наукової літератури, виконанні лабораторних досліджень, аналізі та статистичній обробці отриманих результатів, розрахунках економічної ефективності, підготуванні матеріалів під час написання наукових праць, а також у формуванні висновків і пропозицій виробництву та їх практичному випробуванні. Публікації за темою дисертації підготовлено одноосібно та в співавторстві, де здобувачу

належить фактичний матеріал і основний творчий доробок. Внесок здобувача в публікаціях складає 90–100 %.

Апробація результатів дисертації. Основні результати виконаних досліджень доповідались і обговорювались на Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні питання сучасної аграрної науки» (Умань, 2021, 2022), Всеукраїнській науково-практичній інтернет-конференції «Рубіновські читання» (Умань, 2023, 2024).

Публікації. Результати досліджень дисертаційної роботи опубліковано в 7 наукових працях, з яких 3 – статті в фахових виданнях України і 4 – праці в матеріалах науково-практичних конференцій.

Обсяг і структура дисертації. Дисертаційну роботу викладено на 177 сторінках комп'ютерного набору, в тому числі 134 – основного тексту, що включає вступ, шість розділів, висновки, рекомендації виробництву. Містить анотацію, 41 таблицю, 2 рисунки і додатки (акти впровадження, відомості про апробацію результатів дисертації). Список використаних джерел включає 195 найменувань, з яких 78 – латиницею.

РОЗДІЛ 1

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВНЕСЕННЯ ДОБРИВ ПІД КУКУРУДЗУ

(огляд літератури)

1.1 Вплив застосування добрив на ріст і розвиток рослин кукурудзи

Кукурудза – одна з найурожайніших зернових культур із різноманітним використанням. За даними ВОТ (Всесвітньої організації торгівлі), у світі близько 20 % зерна кукурудзи використовується на продовольчі потреби, 15–20 % – на технічні потреби, близько 60–65 % виділяється на корм худобі [7, 45, 165].

У світовій практиці та в Україні накопичений великий досвід вирощування високих та сталих урожаїв кукурудзи. Проте потенціал сучасних сортів та гібридів, використовується лише на 30–40 % [18, 46]. Це результат не тільки несприятливих погодних умов, що складаються в період вегетації, а й недосконалість технології її вирощування. Одержання високих врожаїв кукурудзи потребує інтенсифікації агротехнічних прийомів, що передбачають високоякісну основну та передпосівну обробку ґрунту; розміщення культури за найкращими попередниками; внесення добрив з урахуванням запланованого врожаю та природного фону родючості [41, 77, 107].

Кукурудза на силос в Україні займає близько 1,2 млн га, а кукурудза на зерно – 4,5–5,0 млн га. Значні площі під кукурудзою знаходяться в США (29 млн га), Бразилії (12 млн га), Індії (5,8 млн га), Аргентині (3,5 млн га) [13, 145]. За виробництвом зерна кукурудза сьогодні входить у п'ятірку світових лідерів [142].

За даними вчених [60], в зерні кукурудзи міститься близько 65–70 % вуглеводів, 9–12 % білків і жирів на рівні 4–8 %, крім того, в ньому містяться мінеральні солі та різні вітаміни. Вважається, що в 100 кг зерна кукурудзи міститься 134 кормові одиниці та близько 8 кг перетравного протеїну.

Завдяки високому енергетичному вмісту поживних речовин, а саме: 100 кг сухого зерна забезпечує 1600 МДж метаболічної енергії.

За останнє десятиліття в Україні посівні площі кукурудзи зросли удвічі, а врожайність цієї культури зросла втричі [40, 57, 183]. Високі врожаї зерна кукурудзи отримують господарства, які вирощують її за інтенсивною технологією. Збір зерна кукурудзи склав 11,16 млн тонн з площі 1,76 млн га (32 %) при врожайності 6,34 т/га [14, 96].

Добрива є одним із пріоритетних факторів інтенсифікації рослинництва, оскільки мають значний вплив на продуктивність сільськогосподарських культур, у тому числі кукурудзи [10, 42, 43]. Питання удобрення кукурудзи вивчали як зарубіжні так і вітчизняні вчені [47, 126]. Система удобрення кукурудзи складається з трьох способів: основного, рядкового та позакореневого. За умов оптимального внесення добрив протягом вегетаційного періоду кукурудза може забезпечувати високі врожаї майже на всіх ґрунтах. Вчені виділяють два важливі етапи розвитку рослин кукурудзи, так звані критичні фази щодо забезпечення їх макро- та мікроелементами, це фази 3–5 та 7–8 листків. Від забезпеченості поживними речовинами, особливо слід звернути увагу на наявність фосфору, залежить кількість качанів на рослині та зерен на них [55, 96, 186].

Кукурудза сильно реагує на азотні добрива. Для забезпечення високої ефективності його застосування та оптимізації дози, крім відбору проб і очікуваної врожайності, необхідно визначити кількість азоту, що міститься в ґрунті. Кількість азоту в ґрунті може бути межах 20–100 кг N залежно від попередника та системи його удобрення, класу ґрунту та агротехніки, що використовується [72, 125].

Найбільший вплив азот має на рівень урожайності кукурудзи. Кукурудза споживає азот до фази 8 листків, поки засвоюється лише 2–3 % азоту, від фази 8 листків до фази всихання стовпчиків квіток (волосків) на качанах – 85 % від загальної кількості азоту. Кукурудза продовжує споживати решту азоту майже до тих пір, поки качани не досягнуть зрілості.

Встановлено, що вплив добрив має істотний вплив на ріст і розвиток рослин кукурудзи [68]. Так, у варіанті контроль висота рослин становила 65,7 см, тоді як при внесенні добрив 104,7–197,3 см залежно від варіанту. Кількість листків у варіанті контроль була найменшою – 8,5, при внесенні добрив – 11,1–14,8. Діаметр стебла також збільшувався при внесенні добрив і становив 9,7 мм у варіанті без добрив та 19,1–29,5 при внесенні добрив.

Інша важлива характеристика продуктивності кукурудзи є довжина качана [72]. При збільшенні азоту, довжина качана та його діаметр також збільшуються. Найдовший качан (22,7 см) і діаметр качана (47,6 мм) було отримано за норми N_{150} , при цьому найменша довжина качана (15,8 см) і його діаметром (39,6 мм) отримано у варіанті контроль (без добрив). Подібні результати повідомили інші дослідники [10, 35, 65]

Найбільша маса качана кукурудзи отримано при внесенні N_{100} , N_{150} , N_{200} (272,9, 285,4 і 276,5 г), а найменше значення (151,9 г) у варіанті без добрив. Результати цілком узгоджуються з даними інших науковців [20].

Автори Танчика С. П. та Центилю Л. В. [183], рекомендують включати кукурудзу в технологію мінеральних добрив у нормах, не перевищуючих $N_{90}P_{90}K_{90}$, для вирощування кукурудзи на зерно на типових чорноземах. Перевищення цієї норми є небажаним як з міркувань екологічної доцільності (гальмування фіксації азоту протягом вегетаційного періоду та значні втрати азотного газу), так і економічної (відносно низька врожайність). Використання гною та біокомпосту є екологічно безпечним і впливає на врожайність кукурудзи, однак компост не викликає значних викидів N_2O на відміну від гною, через що втрати оксиду азоту є одними з найвищих в експерименті. Переваги компосту перед гноєм очевидні як з точки зору захисту навколишнього середовища, так і з економічних міркувань, оскільки його необхідна кількість вдвічі менша за норму гною [16, 56, 131, 133].

Кукурудза позитивно реагує на післядію органічних добрив, яка може тривати кілька років після внесення гною під попередник. Під обробку

ґрунту найчастіше вносять повну норму фосфорних і калійних добрив та основну частину азотних добрив, щоб вони з гарантованим зволоженням потрапляли у шар ґрунту, де розташована основна частина кореневої системи рослин. Залишок азоту вносять з добривом під час міжрядного обробітку ґрунту або позакореневого підживлення. Згідно з дослідженнями встановлено, що тривалість вегетації напряду залежить від густоти сходів кукурудзи, сортових особливостей гібридів та норми мінеральних добрив. Каховський гібрид мав менший (114 діб) вегетаційний період з густотою 60 тис./га незалежно від норм мінеральних добрив. Найдовший вегетаційний період зафіксований у гібридів Скадовського за густоти 80 і 90 тис./га і внесення $N_{120}P_{120}$ (відповідно 124 і 126 діб) і Арабат у варіантах 90 тис./га і $N_{90}P_{90}$ – 125 діб [131].

Рослини кукурудзи засвоюють фосфор значно менше, порівняно з азотом або калієм. Проте, фосфор відіграє значну роль для рослини у двох фазах. У початковій фазі росту та розвитку фосфор забезпечує інтенсивний початковий ріст рослин і оптимальний розвиток кореневої системи кукурудзи. Входить до складу нуклеїнових кислот, бере участь в енергетичному обміні, відіграє велику роль у накопиченні вуглеводів, регулює дихання, фотосинтез тощо. Друга критична фаза, коли фосфор найбільше потрібний, відбувається під час формування генеративних органів [28].

Низка авторів [155, 194] дослідили, що продуктивність зерна кукурудзи обумовлена факторами формування маси зерна в качані під впливом різних доз добрив на 50–55 %, а кількість качанів залежить від гібрида. Рудавська Н. М. та Гук Р. М. [167] встановили, що удобрення посівів кукурудзи мінеральними добривами з розрахунку $N_{90}P_{60}K_{60}$ збільшило висоту рослин на 8–14 см або на 103,0–106,0 %. При збільшенні норми добрив цей показник збільшувався до 32 см або на 113,4 см залежно від гібриду.

Відмічено [120], що на висоту кріплення качана кукурудзи має вплив

удобрення. Так, за внесення норми добрива (діамофоска), у кількості 150 кг/га, 200, 250 і 300 кг/га цей показник зростав і становив 107,9, 108,3, 109,5 і 109,8 см відповідно.

За результатами досліджень, встановлено, що застосування $N_{250}P_{125}K_{125}$ підвищує кількість качанів на рослину, кількість зерен у качані та масу 1000 зерен [54]. Подібний ефект від застосування добрив встановили й інші науковці [3, 22, 40].

Дослідженнями встановлено, що за умов загущення посівів від 40 до 60 і 80 тис./га приріст врожаю зерна кукурудзи за умов 14 % вологості зріс на 1,3–1,41 і 0,81–1,44 т/га, порівнюючи з контролем без добрив [158].

Гетман Н. Я. [93] встановив, що максимальну врожайність зеленої маси та зерна досліджувані гібриди кукурудзи середньоранньої групи стиглості забезпечили за умов сівби з густотою стояння рослин 100 тис/га на фоні мінерального добрива. Так, у гібрида кукурудзи MAS 28. А в ФАО 250 врожайність зеленої маси становила 71,8 т/га з виходом сухої речовини 35,22 т/га, валовий збір зерна був на рівні 16,59 т/га і біогазу 24,65 тис. м³/га. Гібрид кукурудзи Vasiliy ФАО 270 за показниками продуктивності був нижчим і забезпечив урожайність зеленої маси на 64,4 т/га, вихід сухої речовини – 29,79 і зерна – 14,53 т/га, біогазу – 20,85 тис.м³/га. За умов сівби кукурудзи з густотою стояння рослин 80 тис.га, врожайність зеленої маси у обох гібридів була також високою та становила 63,6–68,5 т/га, вихід сухої речовини – 27,02–28,61 т/га, зерна – 11,18–13,29 т/га і біогазу – 18,91–20,03 тис.м³/га

Вчені [162, 164] рекомендують для покращення та підвищення біометричних показників і продуктивності кукурудзи на зерно використовувати біодобрива та препарати мікоризних біопрепаратів.

Автори [157, 187] встановили, що озерненість качана кукурудзи збільшується при внесенні мінерального добрива, а також позакореневого підживлення рослин мікроелементними препаратами.

Дослідженнями Говенько Р. В. [95] встановлено, що азотні добрива

мають істотний вплив на кількість зерен у ряді качана та масу зерна з качана. Так, найбільша кількість зерен в ряді качана 36 шт. у варіанті з внесенням добрива КАС 32. Маса зерна з качана у варіанті внесення азотного добрива КАС 32 зріс до рівня 490, що перевищило варіант контролю на 70 шт. у гібриду ЕС Астероїд.

За рахунок внесення азотних добрив можна ефективно збільшити площу листової поверхні і мати значну поверхню зеленого листя впродовж вегетації для максимальної фотосинтетичної асиміляції [163].

Для одержання високої врожайності важливо підтримувати достатній рівень азоту упродовж критичних фаз росту і розвитку рослин кукурудзи. З огляду на це внесення азоту в роздріб оптимізує живлення рослин і знижує непродуктивні втрати [111, 110, 166, 193]. Разом з тим встановлено, що на ефективність застосування азоту під кукурудзу істотно впливає погода. Так, згідно з дослідженнями, у сприятливих за погодними умовами роки вплив на рівень загального врожаю таких факторів, як погода і азот, становить понад 50 %. Але в посушливий рік погода істотно обмежує реакцію кукурудзи на застосування азоту [21].

Встановлено, що в початковій фазі росту засвоєння азоту рослинами є незначним (3–5 %). Зменшення поглинання азоту, викликане низькими температурами навесні, зумовлює пожовтіння рослин і гальмування у них ростових процесів. Інтенсивніше азот надходить у рослину, починаючи з фази 6–8 листків. Так, якщо до фази 8 листків засвоюється лише 2–3 % азоту, то від фази 8 листків до фази засихання приймочок на качанах – приблизно 85 % загальної кількості азоту. Ще 10–13 % азоту рослина споживає у фазі досягання. Критичний період засвоєння азоту – фаза цвітіння. У цей час висока температура повітря посилює процеси мінералізації і вивільнення азоту з ґрунту, який кукурудза використовує найкраще серед зернових культур [101, 134, 186,]. Саме тому для досягнення високої врожайності кукурудзи важливо підтримувати достатній рівень азоту впродовж критичних фаз росту та розвитку рослин. У зв'язку з цим внесення азоту в

декілька прийомів оптимізує живлення рослин і знижує непродуктивні втрати, зумовлює підвищення показників індивідуальної продуктивності та врожайності.

Відповідно до [133] швидкість росту рослин кукурудзи збільшується у віці 3–5 тиждів після сівби, потім починає знижуватися після 5–7 тижнів і продовжує знижуватися до періоду 11–13 тижнів після сівби. Якщо підживлення здійснюється поступово, то рослина повинна бути удобрена до досягнення віку 3–5 тиждів після сівби, тому що в цьому віці швидкість росту рослини дуже висока, тому потреба в поживних речовинах також є високою. Нестача поживних речовин на цій фазі може призвести до пригнічення росту рослин. Потреба в поживних речовинах у кукурудзи була найвищою на 35–55 добу після сівби [126].

Елементи живлення відіграють важливу роль у рості рослин, будучи компонентом молекул ферментів і молекул хлорофілу, які відіграють важливу роль у процесі передачі енергії в клітинах і в процесі перетворення фотосинтату в прості молекули, які перегруповуються в молекули інших матеріалів, необхідних для процесів метаболізму рослинної клітини [145]. Азот (N) як інгредієнт хлорофілу листя необхідний для стимуляції процесу фотосинтезу в листі. Крім того, N також є складовою амінокислот і білків для росту рослин. Фосфор (P) необхідний для росту та виробництва енергії (АТФ), включаючи утворення насіння, тоді як К стимулює переміщення продуктів фотосинтезу з листя в інші частини рослини та відіграє важливу роль у синтезі вуглеводів, тому врожайність насіння за внесення 400 кг/га NPK у поєднанні з 200 кг/га сечовини може досягати врожайності 10 т/га [133].

Відповідно до результатів [56] доступність поживних речовин пов'язана з процесом наповнення насіння. Поживні речовини, які поглинаються, накопичуються в листках у білки, які утворюють насіння. Накопичення продуктів метаболізму під час формування насіння збільшиться, завдяки чому насіння матиме максимальний розмір і масу. Це

відбувається, коли потреби у поживних речовинах задовольняються, що стимулює оптимальний метаболізм.

Крім азоту, важливу роль відіграє поживний елемент фосфор в рослинах кукурудзи, оскільки значно збільшує листковий індекс площі, швидкість росту культури, суху масу та врожайність кукурудзи. Калій відіграє важливу роль не тільки в зростанні та покращенні якості кукурудзи, а є необхідний рослинам у процесі фотосинтезу, накопичення активних форм кисню, транспортування цукру, виробництва крохмалю в зерні, фіксації азоту та синтезу білка [34].

Дослідженнями Сатановської І. П. [175] доведено, що найбільший приріст висоти рослин зерна кукурудзи у фазі молочно-воскової стиглості при позакореневого підживлення мінеральним добривом «Еколист» багатокомпонентний та з поєднанням «Емістимом С» на фоні передпосівної обробки насіння стимулятором росту «Емістим С».

Ряд авторів [128, 129] вважають, що одним із головних факторів, які визначають ріст рослин у висоту є параметри гібриду. Проте, за даними науковців [57] висота рослин кукурудзи у варіанті контроль становила 273,1 см. Зі збільшенням кількості азоту до 120 кг/га, висота рослини збільшувалася до 288,5 см. Найменша довжина качана була у варіанті контроль – 18,8 см, а найдовша при внесенні N_{120} – 20,6 см. Зокрема, при збільшенні норми азоту довжина качана зменшувалась. Кількість рядів зерна в качані також зростала при внесенні добрив і найбільшою була при N_{120} – 15,6 см, тоді як у варіанті контроль цей показник становив 14,4 см.

Дослідження вивчали роль азоту в рослин кукурудзи, при найбільшій дозі сечовини, а саме 520 кг/га. В результаті чого отримано найвищі показники загальної маси, швидкості росту, індексу площі листя та росту культури [1].

Збалансоване використання NPK має значний вплив на ріст і врожайність кукурудзи. Серед різних варіантів, саме внесення $N_{120}P_{26,2}K_{50}$ найбільше підвищувало урожайність зерна. Там був позитивний і

стимулюючий ефект $N \times P$ і $N \times K$ на габітус рослин, ріст коренів та його кінцевий вплив на врожайність зерна [50].

Згідно результатів досліджень [141] передпосівна обробка насіння мікробіологічним препаратом «Поліміксобактерин» та позакореневі підживлення мікродобривом «Мікро-Мінераліс» (кукурудза) і біостимулятором росту «Стимпо» збільшують висоту рослин середньораннього гібриду кукурудзи Арія, при використанні окремо, так і при використанні в комплексі. Так, у фазі молочної стиглості висота рослин зростає від 208 до 218 см залежно від варіанту досліджу.

Більш високі показники росту та врожайності кукурудзи, досягнуті при обробці NPK, можна пояснити вищою доступністю поживних речовин, пов'язаною з мінеральними добривами [83, 74].

1.2 Урожайність кукурудзи залежно від удобрення

Кукурудза є культурою, яка має високу економічну ефективність. Нині, кукурудза широко використовується як енергетична та інша промислова сировина, попит продовжує зростати з кожним роком на 10–15 % у рік. Таким чином, можливість збільшення внутрішнього виробництва кукурудзи все ще широко відкрита за рахунок збільшення продуктивності та розширення посівних площ [41, 55, 131]. Щороку попит на кукурудзу для виробництва кормів для тварин, продуктів харчування та напоїв продовжував зростати приблизно.

Отже, зростаючий попит на кукурудзу вимагає підвищення її врожайності, включаючи підтримку кращих сортів і управління поживними речовинами шляхом використання відповідних добрив відповідно до потреб рослин.

Важливою ланкою заходів, спрямованою на збільшення врожаності кукурудзи є система удобрення [61, 73]. Через спрощення технологічних прийомів, нестачу ресурсного забезпечення в Україні відбувається

поступове зменшення в ґрунті елементів живлення та погіршення їх родючості. В результаті цього відбувається деградація й втрата продуктивних можливостей ґрунту [14, 76, 79]. Для того щоб одержати максимальну врожайність, навіть на високоокультурених ґрунтах, потрібно врегулювати живлення рослин з урахуванням потреб культури, особливостей сорту або гібрида [80, 103].

Враховувати агрокліматичні умови вирощування, тип ґрунту, ступінь його забезпечення рухомими формами поживних речовин, фізіологічні потреби рослин в окремих мікроелементах живлення на протязі усього вегетаційного періоду можна побудувати систему удобрення кукурудзи [62, 64].

Доза NPK добрив дуже впливає на ріст та врожайність кукурудзи. Внесення по 200 кг/га NPK показало найвищі результати за всіма змінними. Давання NPK у кількості по 300 і 400 кг/га не мав достовірного впливу на продуктивність рослин [34].

Встановлено [58], що застосування мінеральних добрив $NPK_{26-12-12}$ ефективно підвищує ріст і врожайність кукурудзи. Ефективна доза для збільшення врожаю кукурудзи становить 268 кг/га сечовини + 367 кг/га KCl + 500 кг/га неорганічного добрива $NPK_{26-12-12}$, що забезпечує врожайність на рівні 6,94 т/га.

Науковці [143] рекомендують внесення азотних добрив в межах N_{60} – N_{120} для одержання врожайності зерна кукурудзи на рівні 5,20–5,35 т/га в умовах північного Степу України.

Науковими дослідженнями [85, 135, 136] встановлено, що систематичне удобрення кукурудзи забезпечує ґрунт рухомими формами азоту, в більшій мірі амонійною, рухомого фосфору та обмінного калію, що пояснюється опосередкованою дією аміачної селітри на кислотність, обмінні та мікробіологічні процеси у ґрунті.

Вченими [125] відмічено, що збільшення норми азотних добрив від N_{120} до N_{180} , збільшує врожайність зерна кукурудзи на 19,5 %. Внесення

$N_{128}P_{128}K_{128}$ під передпосівний обробіток підвищило врожайність кукурудзи до 9,44 т/га, хоча передзбиральна вологість підвищилась до 17,5 %. Формуванню найвищої зернової продуктивності гібрида кукурудзи SY Torino сприяла комбінація мінеральних добрив, внесених як під передпосівний обробіток ($N_{128}P_{128}K_{128}$), так і підживлення в міжряддя (N_{70}), яка становила 12,88 т/га при передзбиральній вологості зерна 18,3 %. Таким чином, застосування мінеральних добрив позитивно вплинуло на формування показників зернової продуктивності гібридів кукурудзи. І чим більше було внесено азотних добрив, тим вищий урожай. Урожайність гібридів кукурудзи зросла на 83–90 %, порівняно з варіантом без удобрення [189].

За даними авторів [146] прикореневе підживлення азотом, розділене у два прийоми по N_{45} , є ефективним, оскільки підвищує врожайність на 34,0–35,3 % залежно від гібриду.

Рудавською Н. та Гливою В. [60] проведено дослідження та встановлено, що удобрення кукурудзи у нормі $N_{120}P_{90}K_{90}$ підвищує врожайність на 30,0–38,0 % порівняно з варіантом без добрив. Внесення азотних добрив і складання посівів кукурудзи з люцерною показали підвищення фотосинтетичних характеристик, ефективність використання фотосинтетичного азоту та збільшення врожайності до 25 %.

Густота рослин і дозування азотних добрив впливає на ріст і врожайність кукурудзи, так при внесенні N_{161} врожайність збільшилась до 65 % [76].

За результатами досліджень [89] при вирощуванні кукурудзи збільшення норми добрив з $N_{120}P_{60}K_{60}$ до $N_{150}P_{90}K_{90}$ підвищувало врожайність на 17,2–22,6 %.

За даними Вожегової Р. А., Бєлова Я. В., під час вирощування гібрида кукурудзи ДКС 4795 отримали максимальний врожай зерна – 14,5 т/га за сівби з густотою стояння рослин 80 тис. шт./га, а у гібридів ДКС 4964 і ДКС 4795 – 70 тис. шт./га. Внесення мінеральних добрив забезпечили приріст

врожайності зерна 1,8–4,7 т/га. За допомогою експерименту також доведена спроможність кукурудзи максимально реалізувати генетичний потенціал і забезпечити врожайність зерна на рівні 16,0 т/га під час використання мінеральних добрив у дозі $N_{120}P_{120}$ [87, 88].

Гень С. [92] встановлено, що внесення добрив у нормі $N_{120}P_{90}K_{120}$ сприяло отриманню 8,18–8,70 т/га зерна кукурудзи. За дослідженнями, проведеними Танчиком С. та Центилю Л. [183] застосування добрив у нормі $N_{90}P_{90}K_{90}$ підвищує урожайність на 24,7 %, а $N_{120}P_{120}K_{120}$ – на 30,6 %.

Дослідженнями Свидинюка І. [176] встановлено, що врожайність кукурудзи за удобрення $N_{135}P_{135}K_{180}$ становить 8,13–8,99 т/га залежно від гібриду та методу боротьби з бур'янами. За даними авторів [121] врожайність зерна кукурудзи змінювалася від 5,08 до 13,4 т/га залежно від впливу добрив, густоти та гібриду.

Дослідженнями [81] встановлено, що найефективнішим було вирощування з внесенням мінеральних добрив в нормі $N_{180}P_{120}K_{180}$. Якунін О. П. [195] із співавторами встановили, що найбільший приріст врожайності – 0,80 т/га, отримано при внесенні $N_{45}P_{45}$ під культивуацію і $N_{15}P_{15}K_{15}$ при сівбі.

Доведено [48], що найефективнішим способом азотного удобрення кукурудзи є внесення безводного аміаку в нормі N_{150} . В умовах північного сходу України приріст урожаю порівняно із контролем (без добрив) становить 4,81 т/га або 89,2 %.

Внесення мінеральних добрив та біопрепаратів сприяє інтенсивнішому росту та розвитку рослин кукурудзи та збільшенню її врожайності [185]. За роки досліджень найвищу врожайність було отримано у гібридів ДЗ Латориця, Оржиця 237 МВ, ДБ Хотин при внесенні мінеральних добрив дозою $N_{40}P_{40}K_{40}$ – 8,43 т/га, 8,27 т/га, 9,43 т/га відповідно, що перевищувало контроль (без добрив) на 1,15 т/га, 0,89 т/га та 1,54 т/га.

Забезпечення рослин елементами живлення, вологою, теплом – сприяє

підвищенню врожайності [2]. Дослідженнями встановлено підвищення врожайності на 0,21 т/га за рахунок ефективних мікроорганізмів у варіанті природної родючості ґрунту. При внесенні мінеральних добрив врожайність підвищується на 0,40–0,55 т/га, а застосування добрив і мікробних препаратів у комплексі, підвищує врожайність на 0,59–0,80 т/га, порівняно до контролю [114, 147, 173, 177]. Проте деякі гібриди кукурудзи здатні підвищувати урожайність, тоді як підживлюють лише до норми $N_{120}P_{105}K_{105}$, оскільки подальше збільшення кількості добрив призводить до зменшення цього показника [184].

Встановлено [130], що внесення мінеральних добрив в нормі $N_{90}P_{110}K_{110}$ забезпечує оптимальні умови для росту та розвитку рослин кукурудзи. За даними [172] на неудобрених фонах вихід зерна становить 3,58 т/га, при внесенні мінеральних добрив у дозах $N_{120}P_{100}K_{100}$ і $N_{150}P_{120}K_{120}$, а також побічної продукції попередника – кукурудзи на зерно вихід зерна підвищувався до 6,31–8,44 т/га.

Застосування K_2O при 200, 150 і 100 кг/га збільшили врожайність зерна кукурудзи на 24,50, 20,31, і 13,14 % відповідно порівняно з контролем [69].

1.3 Формування якості зерна кукурудзи за різного удобрення

За результатами досліджень [93, 162, 164] виявлено, що врожайність та якість зерна залежать від удобрення, особливо, азотного. На вміст білка та амінокислотний склад зерна кукурудзи в основному впливає генетичний тип, але істотний вплив також мають азотні добрива. Saracoglu K. [56] заявив, що внесення азотних добрив підвищує вміст білка в зерні кукурудзи.

За даними досліджень [75] найнижчий вміст білка зафіксовано у варіанті контроль (без добрив) – 7,97 %, тоді як найвищий при внесенні N_{100} – 9,28 % і N_{150} – 9,23 %. На думку Kruczek [93], у складі поживних речовин у зерні кукурудзи вміст білка збільшується зі збільшенням внесення азотних добрив, причому збільшення має лінійний характер.

Встановлено [67], що вміст білка в зерні кукурудзи змінювався залежно від кількості добрив. Зокрема, у варіанті контроль цей показник становив 8,04 %, при внесенні NH_4NO_3 – 8,69, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ – 9,17, N_{50} – 8,90, N_{100} – 9,28 %.

Збільшення дози NPK значно збільшує вміст білка [54]. Найбільший вміст білка при внесенні $\text{N}_{300}\text{P}_{150}\text{K}_{150}$ був у 2006 р., при цьому найвищий вміст білка був при внесенні $\text{N}_{200}\text{P}_{125}\text{K}_{125}$ у 2007 р. Цей стимулюючий ефект був зумовлений тісним зв'язком між азотом і білком. Ці результати відповідають дослідженням інших вчених, які встановили стимулюючу дію NPK на вміст білка [71, 78].

Застосування азоту збільшувало вміст білка в зерні, він був оптимальним при внесенні N_{200} [51]. Вміст білка в зерні кукурудзи тісно пов'язаний з удобренням саме азотом. Проте, за умов прохолодного, вологого вегетаційного періоду вміст білка в зерні був меншим та становив 8,4–10,2 %, тоді як при сухішому та спекотнішому році досліджень коливався в межах 11,17–12,87 % [58].

Автори [59] повідомляють про максимальний вміст білка (11,10 %) в кукурудзі при внесенні $\text{N}_{160}\text{P}_{80}\text{K}_{140}$, а за іншими показниками якості (вміст крохмалю 74,20 %, вміст жиру 4,33 %), високі показники були зафіксовано при нижчих нормах удобрення – $\text{N}_{80}\text{P}_{40}\text{K}_{60}$.

Bojtor et al [12] виявили, що максимальне значення вмісту білка при внесенні N_{120} , тоді як вищі значення азоту не призвели до збільшення вмісту цього показника.

Саверин І. В., Качмар О. Й. [172] встановили, що вміст перетравного протеїну збільшується при внесенні добрив та за рахунок побічної продукції попередника. Так, у зернопросапній сівоzmіні (за вирощування кукурудзи на зелену масу) за врожайності 30,45 т/га у варіанті без добрив цей показник становив 0,39 т/га. Тоді як за сумісного внесення $\text{N}_{120-150}\text{P}_{100-120}\text{K}_{100-120}$ та побічної продукції попередника (кукурудзи на зерно) вміст перетравного протеїну становив 0,62–0,80 т/га за рівня виходу зеленої маси 47,60–

61,65 т/га.

Вміст білка істотно змінювався залежно від варіанту досліджу. У варіанті контроль цей показник становив 6,18 %, при внесенні N_{50} – 7,30 %, N_{100} – 7,55, N_{150} – 7,98, N_{200} – 7,98, $N_{50}P_{80}$ – 7,48, $N_{100}P_{80}$ – 7,58, $N_{150}P_{80}$ – 8,03, $N_{200}P_{80}$ – 8,05 % [1].

Встановлено [122], що вміст протеїну змінюється залежно від норми внесення добрив. Так, у варіанті без добрив (контроль) вміст протеїну становив 7,24 % при Фон+ N_{40} – 7,62, Фон+ N_{120} – 9,69, $N_{60}P_{45}K_{60}$ – 8,43, Фон+ $N_{60}P_{45}K_{60}$ – 8,26, Фон+ $N_{60}P_{45}K_{60}$ – 8,27, Фон+ $N_{120}P_{45}K_{60}$ – 9,51, Фон+ $N_{120}P_{80}K_{100}$ – 8,83, Фон+ $N_{120}P_{90}K_{120}$ – 9,39, Фон+ $N_{180}P_{120}K_{180}$ – 9,59 %, вміст крохмалю знижувався від 74,08 % у варіанті без добрив до 72,46 при Фон+ $N_{180}P_{120}K_{180}$, вміст жиру збільшувався і становив 4,26–4,36 %.

Істотний вплив азот має вміст крохмалю в зерні кукурудзи [54, 29]. Науковими дослідженнями встановлено, що найвищий вміст був при внесенні $N_{300}P_{150}K_{150}$ – 72,3 %, найменший вміст у варіанті без добрив – 69,6 % [54].

Як показують дослідження внесення добрив значно впливає на зниження вмісту крохмалю [44]. Так, у варіанті контроль цей показник становив 71,8 %, при внесенні N_{80} – 71,6, N_{120} – 71,3, N_{160} – 71,4 %. Подібні результати підтверджуються результатами Bogucka et al. [11], де встановлено, що збільшення норми азоту від 0 до 270 кг призвело до зниження вмісту крохмалю в зерні кукурудзи.

Kierzek et al. [35] у своїх дослідженнях показали відсутність істотного позитивного впливу використання біостимуляторів Ami-noplant і Asahi SL на вміст крохмалю в зерні кукурудзи. Використані в експерименті біорегулятори росту призвели до зниження значення цієї ознаки.

Застосування K_2O в дозі 200 кг/га підвищували урожайність зерна, вміст крохмалю в зерні, вміст олії, вміст білку в зерні та чистий прибуток на 24,50, 3,58, 0,23, 0,25 і 31,19 % відповідно порівняно з контролем [69].

За даними Josipović M. et al. [32] середній вміст крохмалю становив

71,66 % у варіанті без добрив. При внесенні N_{100} – 71,24 %, при N_{200} – 71,09 %, тобто збільшення норми внесення азоту призвело до зниження вмісту крохмалю.

Формування продуктивності будь-якої культури прямо пропорційно залежить від багатьох факторів. Перш за все, важливі ґрунтово-кліматичні умови зони вирощування, а також сортовий або гібридний склад, строки сівби і густота рослин, система мінерального живлення. Але найголовніше – це чітке дотримання всіх методів технології вирощування. [44, 57, 107].

Найважливішим показником, який безпосередньо впливає на врожайність будь-якої культури, є маса 1000 зерен. Це значною мірою залежить від таких природних факторів, як температура повітря та наявність вологи у період наливу зерна. Проте вплив мінерального живлення на даний показник дуже великий [58, 195].

Дослідженнями встановлено [58], що вирощування гібриду кукурудзи SY Fenomen у варіанті без добрив сприяло тому, що маса 1000 зерен була найменшою та становила 318 г, а у гібрида SY Torino вона була на 11 г більшою – 329 г. Дещо вищу масу 1000 зерен спостерігали за використання $N_{128}P_{128}K_{128}$ під передпосівну культивуацію. Показники у гібрида SY Fenomen становили 324 г, а у гібрида SY Torino – 336 г. Найбільше значення маси 1000 зерен мав варіант із додатковим внесенням 70 кг діючої речовини азоту у фазі 6–7 листків. При цьому у гібрида SY Fenomen маса склала 336 г. А у гібрида SY Torino вона була більшою на 9 г та становила 345 г.

Що стосується змінної маси 1000 зерен, спостерігалися статистично значущі відмінності ($p \leq 0,05$) між рівнями удобрення порівняно з контролем для всіх генотипів, виявляючи реакцію на удобрення азотом і сіркою. Усі варіанти досягли найвищого рівня маси 1000 зерен із застосуванням N_{200} і S_{50} , з цим рівнем удобрення отримані значення значно відрізнялися ($p \leq 0,05$) порівняно зі значеннями, знайденими для решти застосованих рівнів удобрення. Збільшення маси 1000 зерен за рахунок збільшення дози азоту зазвичай залежить від співвідношення між вагою зерна та ростом рослини

під час наповнення зерен, і тому в контрольній обробці це збільшення було обмежено меншою кількістю асимілятів [127]. Внесення N_{150} збільшує масу 1000 зерен до 132,73 г, тоді як рослини, які не отримували азот, дали менший показник – 108,29 г [30].

Вміст олії в зерні кукурудзи змінювався залежно дози добрив і становив 4,0–4,9 %. Найбільший вміст був при внесенні $N_{200}P_{100}K_{100}$ – 4,9 %, тоді як у варіанті без добрив цей показник становив 4,0 % [54].

Дослідники продемонстрували зворотні залежності між вмістом олії та вмістом білка [4, 39, 65]. За даними Ray et al. [53] вміст білка в зерні кукурудзи зростає зі збільшенням норми внесення NPK добрив, а вміст жиру зменшується.

Відповідно до Gu H. et al. [24], наявність азоту знижує вміст олії, тоді як застосування калію збільшує її вміст. Згідно досліджень Hafez E. M., Abdelaal K. A [27] та Kaplan M. et al. та ін. [33], застосування азотних добрив мало позитивний вплив на вміст сирої олії, який збільшувався зі збільшенням рівнів азотних добрив.

Отже, в агротехнології кукурудзи удобрення має вирішальне значення для формування високого врожаю зерна. Результати огляду літератури свідчить про великий діапазон щодо оптимального удобрення кукурудзи. Ефективність системи удобрення визначається цілою низкою чинників, які постійно змінюються. Інтенсифікація гібридів кукурудзи і зміни погодних умов буде змінювати ефективність удобрення. При цьому в літературі ефективна доза добрив змінюється в великому діапазоні, тому необхідно проводити додаткові дослідження щодо ефективності удобрення цієї культури.

Результати аналізування розділу висвітлено в праці [179].

РОЗДІЛ 2

УМОВИ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Ґрунтово-кліматичні та погодні умови

Формування продуктивності кукурудзи залежить не лише від природно-кліматичних умов вирощування, але і від складових агротехнології. Тому проведення детального аналізу її складових дозволяє вичленити основні з них, що можуть суттєво впливати на ріст і розвиток рослин. Це в свою чергу може змінювати особливості формування врожаю зерна кукурудзи та суттєво впливати на показники його якості залежно від ґрунтових і погодних умов регіону [161].

Дослідження з впливу різних систем застосування добрив під кукурудзу були проведені на дослідному полі Уманського національного університету садівництва впродовж 2022–2024 рр. у стаціонарному польовому досліді з короткоротаційною сівозміною (№ 87 реєстрації НААН України). Дослід територіально розміщений на північній околиці м. Умань Черкаської обл. з географічними координатами 48°46' пн. ш. і 30°14' сх. д. [178]. Відповідно до природно-сільськогосподарського районування території України дослідне поле розташоване в Маньківському районі Середньо-Дніпровсько-Бузького округу Правобережного Лісостепу [151]. Ґрунтово-кліматична зона Лісостепу в межах України є перехідною від чорноземно-степової до лісолучної. У межах цієї зони виділяють три підзони: Правобережно- та Лівобережно-Дніпровську і Прикарпатську.

Територія Правобережного Лісостепу України за біологічною продуктивністю сільськогосподарських культур є однією з найбільш продуктивних. Ґрунтовий покрив цієї території сформований лесами і лесовидними ґрунтоутворювальними породами. Він має значну строкатість. Тут найбільше поширені чорноземи типові, які займають 36,5 % і чорноземи опідзолені – 21,6 % території. На частку ясно-сірих лісових ґрунтів припадає

3,8 %, сірих лісових – 11,3, темно-сірих опідзолених – 13, лучно-чорноземних – 2,8 і лучних ґрунтів – 3,5 % [159].

Дослідне поле Уманського НУС за рельєфом – це підвищене, вирівняне плато, що розміщене на висоті 245 м над рівнем моря. Плато утворилося на вододілі північно-західної і південно-східної експозицій. Поверхня дослідного полі відносно має рівну поверхню з незначним нахилом – до 2–3°, тому поверхневого стоку талих і атмосферних вод майже не спостерігається. Змив ґрунту відбувається лише за звивових дощів. Підземні води залягають на значній глибині – більш як 20 метрів, тому вони не впливають на споживання води сільськогосподарськими культурами. Нині не спостерігається їхнього впливу також і на формування будови і властивостей ґрунту. Волога, особливо в останній кліматичний період, в регіоні є основним лімітувальним чинником формування продуктивності кукурудзи та інших сільськогосподарських культур.. Запасів ґрунтової вологи поновлюються лише завдяки атмосферним опадам, що випадають в осінньо-зимово-весняний період.

Ґрунтовий покрив на ділянці, де закладено стаціонарний дослід – чорнозем опідзолений, що сформувався на лесі. Має важкосуглинковий гранулометричний склад. Карбонати залягають глибше 60 см, тому за міжнародною класифікацією FAO/WRB, 2022 ґрунт має назву Phaeosems. За генетичними властивостями чорнозем опідзолений подібний як до чорнозему типового, так і темно-сірого опідзоленого ґрунту [160]. Виходячи з цих позицій, можна вважати, що одержані в стаціонарному польовому досліді на цьому підтипі ґрунту дані можуть бути поширені як на чорноземи типові, так і на темно-сірі опідзолені ґрунти.

Отже, чорнозем опідзолений стаціонарного досліді має сприятливі фізико-хімічні та агрохімічні властивості, то на ньому можна вирощувати високі врожаї традиційних для регіону польових культур, у тому числі й кукурудзи. При цьому основними чинниками формування їх високих урожаїв є умови достатнього вологозабезпечення, оптимального

мінерального живлення рослин, температурного режиму тощо. За належної агротехнології кукурудза на цьому ґрунті здатна формувати високу і сталу продуктивність.

За даним метеостанції Умань, що розміщена за два кілометри від стаціонарного досліджу, клімат місцевості за тепловим режимом помірно-середньо-континентальний. Умови зволоження – нестійкі, зимовий період холодний, а літній – жаркий. Влітку часто бувають посушливі періоди. Сума активних температур у Правобережному Лісостепу змінюється від 2400 на півночі до 3200 на півдні провінції. Гідротермічний коефіцієнт може змінюватися в широких межах, але зазвичай становить 1,1–1,2. За узагальненими складовими погоди місцевість належить до нестійкого зволоження.

Середня температура повітря в найбільш холодному місяці – січні $-3,4^{\circ}\text{C}$, а в найтеплішому – червні сягає $20,9^{\circ}\text{C}$. У середньому за календарний рік температура повітря становить $8,8^{\circ}\text{C}$. За даними метеостанції Умань в окремі роки спостерігаються значні відхилення температур як по місяцях, так і за рік від середніх багаторічних показників.

Впродовж року атмосферні опади випадають досить нерівномірно. За холодний період року випадає в середньому 191 мм, а за теплий – значно більше (395 мм). Період з середньодобовою температурою вище ніж $+5^{\circ}\text{C}$ може тривати до 230 діб. Залежно від року період з температурою понад $+10^{\circ}\text{C}$ значно менший – до 140–160 діб.

Гідротермічний коефіцієнт змінюється не лише по роках, але і по вегетаційних періодах сільськогосподарських культур. Зазвичай вегетаційний період триває близько 210 діб. Період активної вегетації сільськогосподарських культур (температура вище 10°C) становить у середньому 165 діб.

Погодні умови за роки проведення досліджень були різними порівняно з середнім багаторічним показником (табл. 2.1). У 2023 р. за період травень – липень випало 150,7 мм опадів, у 2024 р – 116,2 мм, а в 2022 р. –

лише 86,8 мм, що було в 1,3–2,3 рази менше порівняно з багаторічним показником. Проте за осінньо-зимовий період випало відповідно 300 мм, 321 і 222 мм опадів проти 275 мм (середній багаторічний показник).

Температура повітря також змінювалась – у травні вона була на рівні середнього багаторічного показника, проте в червні та липні вища порівняно з ним. Відносна вологість повітря також була нижчою в період активного росту рослин кукурудзи.

Таблиця 2.1

Погодні умови у роки проведення досліджень (за даними метеостанції Умань)

Рік	Всього за рік/ середн є за рік	Місяць											
		10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сума опадів, мм													
Середньобагаторічна	586	43	43	40	38	34	36	41	52	81	68	49	61
2021/2022	452	7,0	21,2	91,2	23,9	7,2	13,4	57,7	22,4	36,3	28,1	44,4	99,2
2022/2023	470	31,2	41,0	44,6	6,0	20,5	27,2	129,6	42,4	15,8	92,5	12,4	7,2
2023/2024	505	33,5	62,3	55,0	29,8	14,9	89,5	56,2	41,8	56,5	17,9	17,7	12,1
Середня температура повітря, °С													
Середньобагаторічна	8,8	8,3	2,8	-1,8	-3,4	-2,3	2,5	9,7	15,4	19,0	20,9	20,1	14,5
2021/2022	10,5	19,8	4,7	-1,0	-1,3	1,8	2,0	8,6	14,5	20,5	21,0	21,8	13,1
2022/2023	11,3	9,3	8,2	3,1	0,2	-0,2	5,1	8,8	15,4	19,6	21,3	22,9	21,4
2023/2024	10,8	11,7	4,6	-1,8	-1,6	4,2	4,5	13,0	15,3	21,2	24,3	23,1	19,7
Відносна вологість повітря, %													
Середньобагаторічна	78	81	87	88	85	84	81	70	67	72	73	73	75
2021/2022	73	70	85	88	80	76	67	68	59	64	63	71	79
2022/2023	73	75	77	86	89	81	72	80	56	64	68	65	62
2023/2024	73	73	82	86	84	80	76	67	57	69	60	56	56

2.2 Методика проведення досліджень

Дослідження проводили у тривалому стаціонарному досліді, закладеному в 2010 році. Дослід одночасно розгорнутий на чотирьох полях, що дає змогу щорічно отримувати дані врожайності всіх культур сівозміни (пшениця озима, кукурудза, ячмінь ярий, соя) (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Схема стаціонарного польового досліді «Агрохімічна ефективність різного співвідношення видів мінеральних добрив у зерно-просапній сівозміні»

Варіант досліді (насиченість добривами 1 га площі сівозміни)	Сівозміна			
	Пшениця озима	Кукурудза	Ячмінь ярий	Соя
Без добрив (контроль)	—	—	—	—
N ₅₅	N ₇₅	N ₈₀	N ₃₅	N ₃₀
N ₁₁₀	N ₁₅₀	N ₁₆₀	N ₇₀	N ₆₀
P ₆₀ K ₈₀	P ₆₀ K ₈₀	P ₆₀ K ₁₁₀	P ₆₀ K ₇₀	P ₆₀ K ₆₀
N ₁₁₀ K ₈₀	N ₁₅₀ K ₈₀	N ₁₆₀ K ₁₁₀	N ₇₀ K ₇₀	N ₆₀ K ₆₀
N ₁₁₀ P ₆₀	N ₁₅₀ P ₆₀	N ₁₆₀ P ₆₀	N ₇₀ P ₆₀	N ₆₀ P ₆₀
N ₅₅ P ₃₀ K ₄₀	N ₇₅ P ₃₀ K ₄₀	N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	N ₃₅ P ₃₀ K ₃₅	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀
N ₁₁₀ P ₆₀ K ₈₀	N ₁₅₀ P ₆₀ K ₈₀	N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	N ₇₀ P ₆₀ K ₇₀	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀
N ₁₁₀ P ₃₀ K ₄₀	N ₁₅₀ P ₃₀ K ₄₀	N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	N ₇₀ P ₃₀ K ₃₅	N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀
N ₁₁₀ P ₆₀ K ₄₀	N ₁₅₀ P ₆₀ K ₄₀	N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	N ₇₀ P ₆₀ K ₃₅	N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀
N ₁₁₀ P ₃₀ K ₈₀	N ₁₅₀ P ₃₀ K ₈₀	N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	N ₇₀ P ₃₀ K ₇₀	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀

У варіанті досліді N₁₁₀P₆₀K₈₀, який було визначено виробничим контролем, насиченість добривами 1 га площі сівозміни розраховано з метою 100 %-го компенсування винесення основних елементів живлення із

зерном і насінням культурами сівозміни. Схему досліду передбачає вивчення можливості за результатами проведених досліджень зниження доз окремих видів мінеральних добрив, а також оптимального їх поєднання. Розміщення варіантів у досліді послідовне з триразовим повторенням. Загальна площа дослідної ділянки 110 м², облікова – 90 м².

Відповідно до схеми досліду застосовували такі види мінеральних добрив: селітра аміачна, суперфосфат гранульований і калій хлористий. Фосфорні та калійні добрива в досліді вносили під зяблевий обробіток ґрунту, азотні – під передпосівну культивуацію та в підживлення пшениці озимої. Нетоварну частину врожаю культур сівозміни (солому, стебелиння) залишали на полі на добриво.

У досліді вирощували гібрид кукурудзи ДКС 4014 (ФАО 310) (Байєр).

Група стиглості – середньостиглий.

ФАО – 310.

Призначення – на зерно, силос.

Підвид – зубоподібний.

Висота рослин – 220–235 см.

Кількість рядів – 14–16 шт.

Кількість зерен у ряду – 35–42 шт.

Вміст крохмалю – понад 72 %.

Маса 1000 зерен – 280–350 г.

Стійкість до хвороб і стресових факторів гібрида кукурудзи ДКС 4014 (ДКС 4014):

Стійкість до посухи – 9 бала.

Стійкість до вилягання – 9 бала.

Стійкість до гельмінтоспоріозу – 8 бала.

Стійкість до сажки – 9 бала.

Стійкість до фузаріозу – 8 бала.

Рекомендована густота на період збирання:

– достатній рівень вологозабезпечення – 75–85 тис. рослин/га; –

недостатній рівень вологозабезпечення – 65–75 тис. рослин/га.

Можна висівати при температурі ґрунту від 10 °С.

Технологія вирощування кукурудзи була загальноприйнятою, за виключенням удобрення. В сівозміні кукурудзу вирощували після пшениці озимої.

Після збирання попередника проводилося дискування на глибину 10–12 см та оранку на 28–30 см. Весною проводили вирівнювання зябу та передпосівну культивуацію.

Система удобрення кукурудзи передбачала внесення під зяблеву оранку фосфорних (суперфосфату гранульованого) та калійних добрив (калію хлористого). Весною під передпосівну культивуацію згідно схеми досліду вносили азотні добрива (аміачну селітру). Всі удобрювальні продукти, які використовувалися в дослідах включені в «Перелік пестицидів та агрохімікатів, дозволених до використання в Україні».

Сівбу кукурудзи проводили за температурного режиму ґрунту 10–12 °С, сівалкою з шириною міжрядь 70 см. Густота рослин кукурудзи у 2022 р. була 78 тис. шт./га, в 2023 р. – 88 тис. шт./га, в 2024 р. – 84 тис. шт./га. Глибина загортання насіння 5–6 см.

Дослідження проводилися відповідно до загальноприйнятих методик з наукових досліджень [115]. Для обґрунтування особливостей формування урожайності та якості зерна кукурудзи виконували обліки і спостереження за періодами основних фенологічних фаз росту й розвитку рослин. Вони включали фенологічні спостереження, облік густоти стояння рослин, біометричні вимірювання, облік урожаю і його структури.

Під час вегетації кукурудзи виконувалися такі обліки і спостереження:

- динаміку росту рослин встановлювали вимірюванням висоти типових десяти рослин з кожного варіанту досліду;
- структуру урожаю кукурудзи перед збиранням урожаю [115];
- облік урожаю зерна проводили методом збирання 20 качанів

[115].

Аналітичні дослідження проводилися згідно загальноприйнятих методик за такими показниками:

- у рослинних зразках визначали: вміст сухої речовини – термогравіметричним методом;
- вміст основних елементів живлення в рослинному матеріалі після мокрого озолення за MBV 31-497058-019-2005 [144];
- показники якості зерна (вміст білка, крохмалю, жиру) методом інфрачервоної спектроскопії [108].

Коефіцієнти використання основних елементів живлення (N, P, K) з мінеральних добрив розраховували різницеvim методом, порівнянням варіанту досліду з повним мінеральним добривом (NPK) і з парними їх комбінаціями (PK, NK, NP) [97].

Баланс елементів живлення в ґрунті розраховували за спрощеною методикою. Азот, що надходив в ґрунт з насінням, атмосферними опадами і фіксований з повітря вільноіснуючими мікроорганізмами прирівнювали до природних витрат (ерозія, вимивання, звітрювання), вважали, що фосфор і калій від ерозії й вимивання покривалися надходженням з насінням і атмосферними опадами [99].

Оптимальну систему удобрення визначали за показниками агрохімічної, економічної та енергетичної ефективності з урахуванням витрат на застосування мінеральних добрив і збирання та доробку додаткового врожаю за технологічними картами та цін реалізації насіння ячменю у IV кварталі 2024 року. Енергетичну ефективність та індекс комплексного оцінювання (ІКО) ефективності систем удобрення кукурудзи – за методикою описаною Г. М. Господаренком [97].

Для статистичної обробки одержаних експериментальних даних результатів проведених досліджень і визначення їх достовірності використовували пакет стандартних програм (ПК «Agrostat»,

MSOfficeExcel) і дисперсійний аналіз. Для якісного оцінювання тісноти зв'язку між одержаними у досліді показниками використовували коефіцієнт кореляції за шкалою R. E. Chaddock: 0,1–0,3 – незначний; 0,3–0,5 – помірний; 0,5–0,7 – істотний; 0,7–0,9 – високий; 0,9–0,99 – дуже високий; 1 – функціональний.

Індекс стабільності визначали за такою формулою:

$$SE = \frac{HE}{LE},$$

де HE – найменший прояв ознаки;

LE – найбільший прояв ознаки.

Висновки до розділу:

Характеристика чорнозему опідзоленого місця проведення польових досліджень вказує на його типовість для Правобережного Лісостепу та придатність для вирощування зернових культур, у тому числі кукурудзи.

Агрометеорологічні умови у роки проведення досліджень, були типовими для регіону, хоч і мали певні відхилення. Це дозволило об'єктивно оцінити вплив систем удобрення, що вивчалися в досліді, на поживний режим ґрунту, процеси росту, розвитку та формування продуктивності ячменю кукурудзи.

Спостереження, обліки відбір зразків ґрунту й рослин і проведення їх аналізів виконували згідно ДСТУ та загальноприйнятих методик. Технологія вирощування кукурудзи у досліді була загальноприйнятою для регіону, крім систем удобрення, що вивчалися в досліді.

РОЗДІЛ 3

РІСТ І РОЗВИТОК РОСЛИН КУКУРУДЗИ РІЗНИХ ВИДІВ І ДОЗ ДОБРИВ

3.1 Висота рослин

Зміна клімату стає значним фактором, який впливає на сільськогосподарські системи. Неприятливий вплив зміни клімату на врожайність добре задокументовано [90]. Адаптація сільського господарства до зміни клімату, така як коригування дат сівби, зміна сортів сільськогосподарських культур і зміна ресурсів, що підвищують продуктивність, значно пом'якшила такі несприятливі впливи на врожайність [3, 4]. Враховуючи значення потенційно адаптивних можливостей, розуміння можливих запасів адаптації та масштабів адаптації є важливим. Однак адаптація внесених добрив до зміни клімату ще не була ретельно досліджена за допомогою польових спостережень.

Проведеними дослідженнями встановлено, що застосування мінеральних добрив у досліді впливало на лінійні розміри рослин кукурудзи упродовж всього вегетаційного періоду. Проте на стадії BBCH 13 (за розпускання третього листка) не було виявлено суттєвого впливу особливостей удобрення (табл. 3.1). Висота рослин становила 9–15 см залежно від видів, доз добрив, їх поєднань та погодних умов. У деяких варіантах дослід з поліпшеним азотним і фосфорним живленням спостерігалась тенденція підвищення висоти рослин кукурудзи. Незначні відмінності можна пояснити тим, що до фази трьох листків рослини кукурудзи розвиваються завдяки запасним поживним речовинам насінини. Лише на більш пізніших стадіях рослини переходять на автотрофне живлення. Цим можна пояснити відсутність значної різниці між варіантами дослід на стадії BBCH 13.

Таблиця 3.1

Динаміка висоти рослин кукурудзи залежно від удобрення, см

Варіант досліджу	Фаза росту та розвитку рослин			
	ВВСН 13	ВВСН 19	ВВСН 51	ВВСН 89
2022 р.				
Без добрив (контроль)	14	58	250	294
N ₈₀	14	59	258	303
N ₁₆₀	14	61	263	310
P ₆₀ K ₁₁₀	14	59	251	296
N ₁₆₀ K ₁₁₀	14	61	263	311
N ₁₆₀ P ₆₀	15	61	264	310
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	15	59	260	305
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	14	62	265	313
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	14	61	264	311
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	14	62	265	312
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	14	61	264	312
HIP ₀₅	1	3	13	14
2023 р.				
Без добрив (контроль)	13	62	232	286
N ₈₀	13	63	240	291
N ₁₆₀	13	66	253	292
P ₆₀ K ₁₁₀	13	62	232	288
N ₁₆₀ K ₁₁₀	13	66	255	292
N ₁₆₀ P ₆₀	13	66	254	292
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	13	64	245	293
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	14	66	259	293
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	13	66	256	292
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	14	65	257	293
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	14	66	256	292
HIP ₀₅	1	3	12	13
2024 р.				
Без добрив (контроль)	9	55	242	264
N ₈₀	9	58	249	270
N ₁₆₀	9	60	257	274
P ₆₀ K ₁₁₀	9	56	243	265
N ₁₆₀ K ₁₁₀	10	60	251	275
N ₁₆₀ P ₆₀	9	60	252	275
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	10	59	252	272
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	9	60	261	276
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	9	61	260	275
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	10	61	259	276
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	9	60	260	275
HIP ₀₅	1	3	12	14

Після появи у кукурудзи третього листка починає формуватися коренева система. Рослина починає інтенсивно поглинати поживні речовини з ґрунту. Як показують проведені дослідження, в цей період уже проявлявся вплив особливостей удобрення на лінійний приріст висоти рослин. Залежно від варіанту удобрення та погодних умов на стадії інтенсивного росту рослин кукурудзи ВВСН 19 вони були заввишки 55–66 см. Найбільший вплив на цей показник мало поліпшення азотного живлення рослин. За поліпшення азотного живлення спостерігалася лише тенденція збільшення висоти, а впливу калійних добрив не було виявлено.

Залежно від погодних умов на стадії формування в кукурудзи дев'яти і більше листків на неудобрених ділянках рослини були заввишки 55–62 см, або зміни були 13 %. При цьому у варіанті досліді виробничого контролю ($N_{160}P_{60}K_{110}$) вона сягала 60–66 см, або різнилась залежно від умов року на 10 %. Це свідчить, що удобрення вже навіть на цій стадії розвитку рослин згладжує негативний вплив погодних умов.

На початку викидання волоті кукурудзою, коли вона стає помітною в середині верхніх листків, рослини формуються заввишки 232–265 см залежно від особливостей удобрення та погодних умов. При цьому найвищі рослини кукурудзи на стадії ВВСН 51 формувалися в умовах 2022 року, а найнижчі – в 2023 році. На цій фазі росту й розвитку рослин закономірно проявлялася дія добрив, особливо високих доз азоту. Так, у 2022 році внесення азотних добрив у дозі 150 кг д. р./га сприяло підвищенню висоти рослин на 13 см, або на 5 %, тоді як на тлі внесення повного мінерального добрива ($N_{160}P_{60}K_{110}$) рослини переважали показник у контрольному варіанті на 15 см. При цьому фосфорні та калійні добрива в складі повного мінерального добрива істотного впливу не мали. Не спостерігалось також значного зниження висоти рослин за зменшення їх дози у складі повного мінерального добрива.

В умовах 2023 року спостерігалась така ж закономірність, як і в

попередньому році, але частка впливу добрив була більшою. Так, на ділянках виробничого контролю ($N_{160}P_{60}K_{110}$) рослини кукурудзи були заввишки 259 см, що на 12 % більше, ніж у контрольному варіанті. За зниження дози мінеральних добрив удвічі (до $N_{80}P_{30}K_{55}$) рослини кукурудзи формувались нижчими на 14 см.

В умовах 2024 року за показником висоти рослин кукурудзи на стадії ВВСН 51 простежувались такі ж закономірності, як і в попередні роки проведення досліджень. При цьому найвищими рослини кукурудзи формувались на ділянках виробничого контролю ($N_{160}P_{60}K_{110}$) і були вищими порівняно з контрольними на 19 см, або на 8 %.

Після викидання волотей кукурудзою приросту висоти рослин майже не немає [17]. Це підтверджено і проведеними дослідженнями, згідно яких, висота рослин за повної стиглості зерна (на стадії ВВСН 89) не істотно відрізнялася від стадії ВВСН 51.

Серед досліджуваних варіантів внесення мінеральних добрив найбільші лінійні розміри рослин кукурудзи були відмічені у варіантах досліду з внесенням високої дози азотних добрив – 275–312 см. За внесення азотних добрив у дозі 80 кг д. р./га висота рослин була дещо меншою і становила 272–305 см залежно від погодних умов вегетаційного періоду.

Використанням методу кореляційно-регресійного аналізу виявлено залежності висоти рослин кукурудзи від кількості внесених мінеральних добрив. Встановлено, що на всіх стадіях розвитку кукурудзи існує тісна пряма кореляційна залежність між дозою внесених азотних добрив і висотою рослин. Коефіцієнти кореляції в усіх варіантах досліду знаходяться вище як 0,70.

Отже, на основі проведених досліджень, встановлено, що висота рослин кукурудзи перебуває у прямій кореляційній залежності від дози внесення мінеральних добрив, у першу чергу азотних. Найбільшою вона була у варіантах досліду із максимальними дозами азоту – 150 кг/га.

3.2 Індивідуальна продуктивність рослин кукурудзи

Автори [5, 6] вказали, що кукурудза добре реагує на удобрення гноєм, чого не спостерігається при вирощуванні пшениці. Навпаки, в інших дослідженнях [7] виявлено, що мінеральні добрива є більш ефективними у дослідях на кукурудзі порівняно з органічними. Проте органічні добрива значно збагачують ґрунт мікроорганізмами, органічним вуглецем, макроелементами і мікроелементами, створюючи сприятливе середовище для наступних рослин.

Таї та ін. [8] підтвердили позитивний вплив органічних добрив на фізико-хімічні властивості ґрунтів шляхом збільшення вмісту органічної речовини та покращення рН ґрунту. Однак вони рекомендують збалансований підхід, пропонуючи використовувати комбіновану дозу органічних і мінеральних добрив у відповідних пропорціях для вирощування кукурудзи.

Pang і Letey [9] припустили, що такі культури, як кукурудза, які мають значну потребу в азоті, демонструють сприятливу реакцію на поєднання органічних і мінеральних добрив. Зокрема, на певних стадіях розвитку, коли потреба в азоті помітно висока, внесення мінеральних добрив стає виправданим.

Автори [10] продемонстрували як у лізіметрах, так і в польових експериментах, що використання органічних добрив разом із половиною стандартної дози мінерального азоту є таким же ефективним, як використання повної дози азотних добрив (175 кг/га д. р.). Такий підхід помітно збільшував масу коренів, біомасу і, зрештою, врожайність зерна кукурудзи.

Застосування добрив достовірно збільшувало масу однієї рослини у фазу повної стиглості зерна кукурудзи (табл. 1). У середньому за три роки досліджень маса однієї рослини збільшувалась найбільше за систем, що включали азотний компонент. При цьому цей показник зростав лише на

18 % за збільшення дози азотних добрив від 80 до 160 кг/га д. р. Маса однієї рослини кукурудзи за повного мінерального добрива ($N_{160}P_{60}K_{110}$) зростала на 63 % порівняно з контролем і лише на 4 % порівняно з внесенням N_{160} .

Азотно-фосфорна, азотно-калійна система та варіанти з неповним поверненням фосфорних і калійних добрив за ефективністю не поступались повному мінеральному добриву як у середньому, так і за роки проведення досліджень.

Найменше на масу однієї рослини впливало застосування фосфорних і калійних добрив. При цьому цей показник був на рівні 270,1 г, що було більше на 7 % порівняно з контролем.

Маса однієї рослини також змінювалась залежно від погодних умов року дослідження. Так, найбільшу масу мала рослина в 2023 р. – 336,5–496,9 г, у 2022 р. – 244,1–384,6, а в 2024 р. – 350,0–175,4 г залежно від варіанту досліду. При цьому застосування всіх систем удобрення достовірно впливало на масу однієї рослини.

Таблиця 3.2

Маса однієї рослини кукурудзи за різних видів і доз добрив у фазу повної стиглості, г

Варіант	Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Без добрив	244,1	336,5	175,4	252,0
N_{80}	340,9	423,0	236,5	333,5
N_{160}	375,3	463,8	343,6	394,2
$P_{60}K_{110}$	256,4	372,3	181,7	270,1
$N_{160}K_{110}$	376,7	475,8	337,7	396,7
$N_{160}P_{60}$	376,5	477,4	341,8	398,6
$N_{80}P_{30}K_{55}$	354,6	440,9	248,3	348,0
$N_{160}P_{60}K_{110}$	384,6	496,9	350,0	410,5
$N_{160}P_{30}K_{55}$	370,9	488,5	345,8	401,8
$N_{160}P_{60}K_{55}$	378,8	489,2	350,0	406,0
$N_{160}P_{30}K_{110}$	381,7	489,3	347,0	406,0
HIP_{05}	16,5	19,9	13,7	—

Формування абсолютно сухої маси однієї рослини мало подібну

тенденцію до маси однієї рослини за фактичної вологості в фазу повної стиглості зерна (табл. 2). При цьому цей показник змінювався від 183,3 г у варіанті без добрив до 242,2–282,5 г на азотних системах і 252,4–294,2 г – за внесення повного мінерального добрива.

Таблиця 3.3

Абсолютно суха маса однієї рослини кукурудзи за різних видів і доз добрив, г

Варіант	Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Без добрив	189,0	253,5	107,5	183,3
N ₈₀	263,6	318,1	145,0	242,2
N ₁₆₀	289,9	347,2	210,6	282,5
P ₆₀ K ₁₁₀	198,8	280,2	111,3	196,8
N ₁₆₀ K ₁₁₀	290,8	355,9	207,0	284,6
N ₁₆₀ P ₆₀	290,8	357,3	209,5	285,9
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	274,0	330,9	152,3	252,4
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	296,8	371,1	214,5	294,2
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	286,3	364,7	212,0	287,7
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	292,4	365,3	214,5	290,8
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	294,5	365,3	212,7	290,9
HIP ₀₅	14,3	16,4	10,5	—

Азотно-фосфорна, азотно-калійна система та варіанти з неповним поверненням фосфорних і калійних добрив за ефективністю не поступались повному мінеральному добриву як у середньому, так і за роки проведення досліджень.

Найменше на абсолютно суху масу однієї рослини впливало застосування фосфорних і калійних добрив. При цьому цей показник був на рівні 196,8 г, що було більше на 7 % порівняно з контролем.

Абсолютно суха маса однієї рослини також змінювалась залежно від погодних умов року дослідження. Так, найбільшу масу мала рослина в 2023 р. – 253,5–371,1 г, у 2022 р. – 189,0–296,8, а в 2024 р. – 107,5–214,5 г залежно від варіанту досліду. При цьому застосування всіх систем удобрення достовірно впливало на абсолютно суху масу однієї рослини.

Застосування різних видів і доз добрив також достовірно збільшувало масу зерна в одному качані кукурудзи (табл. 3). У середньому за три роки досліджень маса зерна в качані збільшувалась найбільше за систем, що включали азотний компонент. При цьому цей показник зростає лише на 6 % за збільшення дози азотних добрив від 80 до 160 кг/га д. р. Маса зерна качана кукурудзи за повного мінерального добрива ($N_{160}P_{60}K_{110}$) зростала на 41 % порівняно з контролем і лише на 2 % порівняно з внесенням N_{160} .

Таблиця 3.4

Маса зерна в одному качані кукурудзи за різних видів і доз добрив, г

Варіант	Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Без добрив	108,4	143,6	126,0	126,0
N_{80}	148,9	177,0	166,5	164,1
N_{160}	161,7	185,5	176,0	174,4
$P_{60}K_{110}$	115,3	157,3	133,2	135,3
$N_{160}K_{110}$	161,6	188,8	174,8	175,1
$N_{160}P_{60}$	162,2	190,2	176,0	176,1
$N_{80}P_{30}K_{55}$	152,8	180,7	170,1	167,9
$N_{160}P_{60}K_{110}$	163,6	193,3	178,4	178,4
$N_{160}P_{30}K_{55}$	158,5	189,4	177,2	175,0
$N_{160}P_{60}K_{55}$	161,8	191,1	178,4	177,1
$N_{160}P_{30}K_{110}$	162,3	190,4	176,0	176,2
HIP_{05}	7,3	9,7	8,1	—

Азотно-фосфорна, азотно-калійна система та варіанти з неповним поверненням фосфорних і калійних добрив за ефективністю не поступалися повному мінеральному добриву як у середньому, так і за роки проведення досліджень.

Найменше на масу одного качана кукурудзи впливало застосування фосфорних і калійних добрив. При цьому цей показник був на рівні 135,3 г, що було більше на 6 % порівняно з контролем.

Маса одного качана кукурудзи також змінювалась залежно від погодних умов року дослідження. Так, найбільшу масу качана мала рослина в 2023 р. – 143,6–193,3 г, у 2024 р. – 126,0–178,4, а в 2022 р. – 108,4–163,6 г

залежно від варіанту досліджу. При цьому застосування всіх систем удобрення достовірно впливало на масу качана однієї рослини кукурудзи.

Результати розрахунків свідчать, що частка зерна в вегетативній масі кукурудзи знижувалась від застосування добрив, крім фосфорно-калійної системи (табл. 4).

Таблиця 3.5

Частка зерна в фітомасі кукурудзи за різних видів і доз добрив, %

Варіант	Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
У розрахунку на фактичну вологість				
Без добрив	43,9	42,0	41,2	42,3
N ₈₀	43,3	41,3	40,8	41,8
N ₁₆₀	42,7	39,5	33,4	38,6
P ₆₀ K ₁₁₀	44,5	41,7	41,7	42,6
N ₁₆₀ K ₁₁₀	42,5	39,2	33,7	38,5
N ₁₆₀ P ₆₀	42,7	39,4	33,6	38,6
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	42,7	40,5	40,2	41,1
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	42,2	38,5	33,3	38,0
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	42,4	38,3	33,4	38,0
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	42,4	38,6	33,3	38,1
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	42,2	38,5	33,2	38,0
У розрахунку на абсолютно суху масу				
Без добрив	48,7	48,0	49,5	48,7
N ₈₀	48,2	47,3	49,2	48,2
N ₁₆₀	47,6	45,4	41,3	44,8
P ₆₀ K ₁₁₀	49,3	47,6	50,1	49,0
N ₁₆₀ K ₁₁₀	47,4	45,1	41,6	44,7
N ₁₆₀ P ₆₀	47,6	45,2	41,5	44,8
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	47,6	46,4	48,5	47,5
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	47,0	44,3	41,2	44,2
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	47,2	44,1	41,4	44,2
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	47,2	44,4	41,2	44,3
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	47,0	44,3	41,1	44,1

За фактичної вологості цей показник у варіанті без добрив становив на рівні 42,3 % і знижувався до 38,0–41,8 % за внесення добрив з азотною складовою. При цьому за використання в обрахунках показників в абсолютно сухій масі частка зерна також мала подібну тенденцію, проте

змінювалась від 44,1 до 49,0 % залежно від варіанту досліду.

Частка зерна в вегетативній масі також змінювалась упродовж років досліджень. Так, найвищою вона була в 2022 р., а найменшою в 2024 р. Частка зерна в розрахунку на абсолютно суху масу була вищою, проте мала подібну тенденцію.

Важливим показником формування продуктивності кукурудзи є маса 1000 зерен. Як видно з даних табл. 3.6, залежно від погодних умов і особливостей удобрення цей показник змінювався від 277 до 396 г або на 43 %. У середньому за три роки проведення досліджень маса 1000 зерен була в межах 306–336 г або змінювалася на 10 %.

Таблиця 3.6

Маса 1000 зерен кукурудзи за різних видів і доз добрив, г

Варіант	Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Без добрив	287	335	295	306
N ₈₀	309	380	270	320
N ₁₆₀	315	386	285	329
P ₆₀ K ₁₁₀	292	347	298	312
N ₁₆₀ K ₁₁₀	317	390	283	330
N ₁₆₀ P ₆₀	318	389	284	330
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	310	385	277	324
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	321	396	289	335
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	320	395	288	334
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	321	394	287	334
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	322	396	290	336
HIP ₀₅	16	19	13	—

У варіанті досліду без добрив найнижча маса 1000 зерен кукурудзи (287 г) формувалася в умовах 2022 року, а найвища – на 52 г була в 2023 році. Такі ж закономірності спостерігалися і в інших варіантах досліду.

З основних елементів живлення на тлі застосування парних їх комбінацій у середньому за три роки проведення досліджень найбільший вплив мало поліпшення азотного живлення рослин кукурудзи – маса 1000 зерен збільшувалася на 12 г або на 7 %. Фосфорна й калійна складові

повного мінерального добрива ($N_{160}P_{60}K_{110}$) сприяли підвищенню цього показника лише на 5 г або на 1 %.

На тлі зменшеної удвічі дози внесення повного мінерального добрива (варіант $N_{80}P_{30}K_{55}$) зниження маси 1000 зерен було незначним – лише на 3 %. Зменшення в складі повного мінерального добрива частки фосфору й калію в складі повного мінерального добрива в усі роки проведення досліджень не мало істотного впливу на цей показник.

Отже, можна зробити висновок, що показник маси 1000 зерен кукурудзи більше змінюється від погодних умов вегетаційного періоду, ніж від особливостей удобрення. За поліпшення мінерального живлення рослин, особливо азотного, цей показник поліпшується. Незначні його зміни можна пояснити збільшенням кількості зерен у качанах (табл. 3.7).

Як видно з даних табл. 3.7, залежно від систем застосування добрив і погодних умов вегетаційного періоду озерненість качана кукурудзи змінювалась у межах 398–648 шт. або на 63 %. Найнижчим рівень цього показника на неудобрених ділянках був в умовах 2022 року – 398 шт/качан. Порівняно з виробничим контролем (варіант $N_{160}P_{60}K_{110}$), достовірне зниження кількості зерен у качані спостерігалось лише у варіантах досліду N_{80} і $P_{60}K_{110}$ – відповідно на 31 і 19 шт.

В умовах 2023 року зниження кількості зерен в качані порівняно з виробничим контролем, крім абсолютного контролю, було лише у варіанті досліду $P_{60}K_{110}$ – на 36 шт. або на 7 %.

Таблиця 3.7

**Кількість зерен в одному качані кукурудзи за різних видів і доз
добрив, г**

Варіант	Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Без добрив	398	451	453	434
N ₈₀	501	489	644	545
N ₁₆₀	533	502	647	561
P ₆₀ K ₁₁₀	413	476	474	454
N ₁₆₀ K ₁₁₀	530	506	645	560
N ₁₆₀ P ₆₀	532	513	648	564
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	514	491	643	549
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	532	511	644	562
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	515	501	644	553
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	525	509	648	561
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	524	504	634	554
<i>НІР</i> ₀₅	25	22	29	—

Погодні умови 2024 року за роки проведення досліджень були найбільш сприятливими для формування озерненості качана кукурудзи. На тлі внесення повного мінерального добрива (варіант N₁₆₀P₆₀K₁₁₀) порівняно з неудобреними ділянками кількість зерен на качані збільшувалася на 191 шт. або на 30 %. В інших варіантах досліді із застосуванням добрив, за виключенням фосфорно-калійного тла, різниця за цим показником була в межах помилки досліді. З отриманих даних можна зробити висновок, що з основних елементів живлення азот має найбільший вплив на озерненість качана кукурудзи.

У середньому за три роки проведення досліджень на фосфорно-калійному тлі кількість зерен у качані кукурудзи збільшувалася на 20 шт. або на 5 %, тоді як у варіантах досліді N₈₀ і N₁₆₀ – відповідно на 26 % і 29 %. В інших варіантах досліді з удобренням цей показник був у межах 549–564 шт. або змінювався лише на 3 %.

Отже, з проведених досліджень можна зробити висновок, що основний вплив на озерненість кукурудзи на чорноземі опідзоленого регіону має

забезпеченість рослин азотом, а незначні зміни залежно від системи удобрення пояснюються недостатніми та нестабільними умовами вологозабезпечення.

У системі удобрення кукурудзи важливе значення має азотна складова від повного мінерального добрива. При цьому високу ефективність за тривалого застосування добрив має доза азотних добрив на рівні 80 кг/га д. р. Маса зерна в одному качані може змінюватись від 108,4 до 143,6 г на ділянках без добрив і від 148,9 до 193,3 г за систем удобрення з азотною складовою. При цьому частка зерна в фітомасі кукурудзи від застосування азотних добрив у різних комбінаціях знижується.

У результаті проведених досліджень встановлено, що:

Серед досліджуваних варіантів внесення мінеральних добрив найбільші лінійні розміри рослин кукурудзи були відмічені у варіантах досліду з внесенням високої дози азотних добрив – 275–312 см. За внесення азотних добрив у дозі 80 кг д. р./га висота рослин була дещо меншою і становила 272–305 см залежно від погодних умов вегетаційного періоду.

У середньому за три роки досліджень маса зерна в качані збільшувалась найбільше за систем, що включали азотний компонент. При цьому цей показник зростав лише на 6 % за збільшення дози азотних добрив від 80 до 160 кг/га д. р. Маса зерна качана кукурудзи за повного мінерального добрива ($N_{160}P_{60}K_{110}$) зростала на 41 % порівняно з контролем і лише на 2 % порівняно з внесенням N_{160} .

Застосування добрив достовірно збільшувало масу однієї рослини у фазу повної стиглості зерна кукурудзи. У середньому за три роки досліджень маса однієї рослини збільшувалась найбільше за систем, що включали азотний компонент. При цьому цей показник зростав лише на 18 % за збільшення дози азотних добрив від 80 до 160 кг/га д. р. Маса однієї рослини кукурудзи за повного мінерального добрива ($N_{160}P_{60}K_{110}$) зростала на 63 % порівняно з контролем і лише на 4 % порівняно з внесенням N_{160} .

Результати розрахунків свідчать, що частка зерна в вегетативній масі кукурудзи знижувалась від застосування добрив, крім фосфорно-калійної системи. За фактичної вологості цей показник у варіанті без добрив становив на рівні 42,3 % і знижувався до 38,0–41,8 % за внесення добрив з азотною складовою. При цьому за використання в обрахунках показників в абсолютно сухій масі частка зерна також мала подібну тенденцію, проте змінювалась від 44,1 до 49,0 % залежно від варіанту дослідів. Частка зерна в вегетативній масі також змінювалась упродовж років досліджень. Так, найвищою вона була в 2022 р., а найменшою в 2024 р. Частка зерна в розрахунку на абсолютно суху масу була вищою, проте мала подібну тенденцію.

У системі удобрення кукурудзи важливе значення має азотна складова від повного мінерального добрива. При цьому високу ефективність за тривалого застосування добрив має доза азотних добрив на рівні 80 кг/га д. р. Маса зерна в одному качані може змінюватись від 108,4 до 143,6 г на ділянках без добрив і від 148,9 до 193,3 г за систем удобрення з азотною складовою. При цьому частка зерна в фітомасі кукурудзи від застосування азотних добрив у різних комбінаціях знижується.

У середньому за три роки проведення досліджень на фосфорно-калійному тлі кількість зерен у качані кукурудзи збільшується на 20 шт. або на 5 %, тоді як у варіантах дослідів N_{80} і N_{160} – відповідно на 26 % і 29 %. В інших варіантах дослідів з удобренням цей показник у межах 549–564 шт. або змінюється лише на 3 %.

У варіанті дослідів без добрив найнижча маса 1000 зерен кукурудзи (287 г) формується в умовах 2022 року, а найвища – на 52 г в 2023 році. Такі ж закономірності спостерігалися і в інших варіантах дослідів.

З основних елементів живлення на тлі застосування парних їх комбінацій у середньому за три роки проведення досліджень має поліпшення азотного живлення рослин кукурудзи – маса 1000 зерен збільшується на 12 г або на 7 %. Фосфорна й калійна складові повного

мінерального добрива ($N_{160}P_{60}K_{110}$) сприяє підвищенню цього показника лише на 5 г або на 1 %.

На тлі зменшеної удвічі дози внесення повного мінерального добрива (варіант $N_{80}P_{30}K_{55}$) зниження маси 1000 зерен незначне – лише на 3 %. Зменшення в складі повного мінерального добрива частки фосфору й калію в складі повного мінерального добрива в усі роки проведення досліджень не має істотного впливу на цей показник.

Результати досліджень висвітлено в праці [181].

РОЗДІЛ 4

ПРОДУКТИВНІСТЬ КУКУРУДЗИ ЗА РІЗНИХ ВИДІВ І ДОЗ ДОБРИВ

4.1 Формування врожайності зерна та стебел

Динамічне поглинання певних елементів живлення протягом вегетації та їх роль у формуванні окремих органів рослин є ключовим фактором у визначенні строків і способу внесення добрив [124]. Управління азотом та оцінка оптимальної норми мінеральних добрив є складними через численні взаємодії, які існують у динамічній системі ґрунт–рослина–атмосфера та невизначеність погоди [137].

Максимальна врожайність кукурудзи залежить від збалансованого живлення, причому азотне живлення є основною поживною речовиною, що обмежує врожайність кукурудзи та якість зерна [70]. Зміна ефективності використання азоту при високому введенні азоту в основному пов'язана зі зміною поглинання азоту, тоді як при низькому вмісті азоту можуть відігравати роль обидва компоненти ефективності удобрення, зокрема ефективність використання азоту, тобто врожайність зерна – поглинання азоту [140].

Значна взаємодія між ступенем дефіциту азоту та часом його застосування вказує на те, що не існує єдиного найкращого строку застосування азотних добрив [49]. Внесення азотних добрив (40 % одночасно з сівбою та 60 % у весняний період вегетації у фазу 8 листків) досягнуто найбільшої врожайності зерна кукурудзи порівняно із застосуванням одноразової дози навесні та в підживлення [19]. Ці автори дійшли висновку, що багаторазове застосування азоту є оптимальним порівняно з одноразовим [52]. Інші вчені встановили, що осіннє внесення азотних добрив в окремі роки забезпечували формування на 20 % більшої врожайності порівняно з їх внесенням весною. Проте були роки, коли

ефективність обох строків була однаковою [6].

Низка авторів підтверджує, що засвоєння та накопичення певних біогенних елементів у кукурудзі та інших видах рослин частково знаходиться під генетичним контролем, а варіації концентрації елементів у рослинах є основним критерієм визначення генетичної специфіки мінерального живлення [139]. В умовах дефіциту або зниження концентрації окремих елементів мінерального живлення різні генотипи виявляють різний ступінь пристосованості, з чого можна зробити висновок про ефективність засвоєння і використання рослинами елементів мінерального живлення значною мірою генетично контрольовані [102].

Багато авторів стверджують, що існує два шляхи підвищення ефективності використання поживних речовин, насамперед азоту в кукурудзі: більш адаптована система удобрення або сівба кращих гібридів [9]. Другий шлях підвищення продуктивності кукурудзи полягає у виборі генотипів, здатних поглинати більше поживних речовин (N, P і K) із ґрунту та добрив (краща ефективність поживних речовин) і краще використовувати їх для отримання вищих урожаїв зерна (краще використання поживних речовин) [150].

Розширені можливості для прийняття, накопичення, використання та/або повторного використання макро- та мікроелементів можуть стати основою для розробки програм селекції кукурудзи для продуктивності та якості зерна.

Дослідження свідчать, що застосування всіх систем удобрення, що містить азотну складову достовірно збільшувала врожайність зерна кукурудзи (табл. 4.1). Так, у середньому за три роки досліджень урожайність збільшувалась від 10,36 до 14,73 т/га залежно від варіанту досліду. За внесення N_{80} цей показник збільшувався до 13,53 т/га або на 31 % порівняно з ділянками без добрив. У варіанті з подвійною дозою азотних добрив урожайність була 14,38 т/га або більше на 39 %. Необхідно відзначити, що врожайність при цьому була лише на 6 % більшою порівняно з внесенням

N₈₀. За внесення половини від повного мінерального добрива збільшувало врожайність до 13,84 т/га або на 34 % порівняно з контролем. За внесення повного мінерального добрива вона збільшувалась до 14,73 т/га або на 42 %. Необхідно відзначити, що при цьому врожайність була лише на 2 % більшою порівняно з азотними системами.

Таблиця 4.1

Формування врожайності зерна кукурудзи та її стабільності за різних видів і доз добрив, т/га

Варіант	Рік проведення досліджень			Середнє за три роки	Індекс стабільності
	2022	2023	2024		
Без добрив	8,35	12,44	10,31	10,36	0,67
N ₈₀	11,51	15,38	13,70	13,53	0,75
N ₁₆₀	12,51	16,13	14,53	14,38	0,78
P ₆₀ K ₁₁₀	8,89	13,65	10,91	11,15	0,65
N ₁₆₀ K ₁₁₀	12,50	16,42	14,40	14,44	0,76
N ₁₆₀ P ₆₀	12,55	16,54	14,53	14,53	0,76
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	11,82	15,71	14,05	13,84	0,75
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	12,66	16,82	14,77	14,73	0,75
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	12,26	16,47	14,65	14,44	0,74
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	12,52	16,62	14,74	14,61	0,75
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	12,56	16,56	14,52	14,54	0,76
HIP ₀₅	0,63	0,77	0,69	—	—

Урожайність зерна кукурудзи за вирощування на азотно-калійній, азотно-фосфорній системі та з неповним поверненням фосфорних і калійних добрив була на рівні варіанту з повним поверненням елементів живлення.

Найменше на врожайність кукурудзи впливало застосування фосфорних і калійних добрив. Як у середньому, так і за роки проведення досліджень урожайність збільшувалась недостовірно порівняно з варіантом без добрив.

Необхідно відзначити про низький індекс стабільності формування врожайності зерна кукурудзи. При цьому застосування систем з азотною складовою сприяли підвищенню формуванню врожайності зерна від 0,67 до 0,78. Не впливало на цей показник застосування фосфорних і калійних

добрив. При цьому необхідно відзначити, що в менш сприятливому 2022 р. рівень урожаю зерна був у межах 8,35–12,66 т/га. Тоді як, наприклад у пшениці твердої в менш сприятливих умовах рівень урожаю становив 3,99 т/га, а в сприятливіших лише 4,98 т/га [16].

Урожайність кукурудзи змінювалась залежно від року проведення досліджень. Так, найвищу врожайність отримано за вирощування кукурудзи у 2023 р. – 12,44–16,82 т/га, а найменшу в 2022 р. – 8,35–12,66 т/га залежно від удобрення. На величину врожаю кукурудзи впливала кількість опадів. Так, у 2022 р. в період активного формування вегетативної маси рослин випало лише 86,8 мм опадів, у 2024 р. – 116,2 мм, а в 2023 р. – 150,7 мм. Крім цього, в 2022 р. в травні була не оптимальна температура для росту рослин кукурудзи та опади в осінньо-зимовий період були меншими. При цьому ефективність застосування різних видів і доз добрив була майже однаковою за роками проведення досліджень.

Поряд з урожайністю зерна, важливим показником продуктивності кукурудзи є формування нетоварної частини урожаю. Облік цього показника є важливим з декількох позицій. Урожайність стебелиння необхідно враховувати під час розрахунку доз внесення добрив, тому що поряд з урожаєм зерна, кукурудза формує і невисоку масу нетоварної продукції. Цей показник також важливий для розрахунку балансу в ґрунті органічного вуглецю. Стебелиння, як джерело органічної речовини, впливає також на мікробіологічну активність ґрунту, його агрофізичні властивості та водоутримувальну здатність.

Проведеними дослідженнями було встановлено, що застосування різних видів мінеральних добрив, їх доз та поєднань у польовій сівозміні, а також погодні умови істотно впливають на врожайність стебелиння кукурудзи (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

**Урожайність стебелиння кукурудзи за різних видів і доз добрив,
т/га**

Варіант досліджу	Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Показник за фактичної вологості				
Без добрив (контроль)	10,69	17,17	14,73	14,20
N ₈₀	15,08	21,84	19,87	18,93
N ₁₆₀	16,76	24,68	28,86	23,43
P ₆₀ K ₁₁₀	11,11	19,11	15,26	15,16
N ₁₆₀ K ₁₁₀	16,88	25,45	28,37	23,57
N ₁₆₀ P ₆₀	16,82	25,47	28,71	23,67
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	15,84	23,09	20,86	19,93
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	17,34	26,91	29,40	24,55
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	16,67	26,52	29,05	24,08
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	17,03	26,43	29,40	24,29
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	17,21	26,50	29,15	24,29
HIP ₀₅	1,42	2,21	2,18	
Показник у перерахунку на абсолютно суху масу				
Без добрив (контроль)	7,56	11,61	9,03	9,40
N ₈₀	10,66	14,76	12,18	12,53
N ₁₆₀	11,85	16,68	17,69	15,41
P ₆₀ K ₁₁₀	7,86	12,92	9,35	10,04
N ₁₆₀ K ₁₁₀	11,93	17,20	17,39	15,51
N ₁₆₀ P ₆₀	11,89	17,22	17,60	15,57
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	11,20	15,61	12,79	13,20
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	12,26	18,19	18,02	16,16
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	11,79	17,93	17,81	15,84
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	12,04	17,86	18,02	15,97
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	12,17	17,91	17,87	15,98
HIP ₀₅	0,61	0,85	0,92	—

Як видно з даних 4.2, залежно від варіанту досліджу та року проведення досліджень урожайність стебелиння була в межах 10,69–29,40 т/га, або змінювалась на 175 %. З видів мінеральних добрив найбільший вплив на цей показник мали азотні. У середньому за три роки проведення досліджень 1 кг азоту добрив у варіанті досліджу N₈₀ сприяло формуванню 59,1 кг маси стебелиння, а у варіанті N₁₆₀ – 57,7 кг. На фосфорно-калійному тлі (варіант N₁₆₀P₆₀K₁₁₀) цей показник підвищувався до 58,7 кг стебелиння на 1 кг азоту добрив.

Вплив фосфорних і калійних добрив на врожайність стебеління був меншим. Так, внесення фосфорних добрив на азотно-калійному тлі (варіант дослідів $N_{160}P_{60}K_{110}$) 1 кг P_2O_5 сприяв формуванню 16,3 кг стебеління, а 1 кг K_2O – лише 8,0 кг. За дози внесення цих видів добрив удвічі меншою дозою – відповідно 30 кг і 55 кг д. р./га ці показники були вищими – відповідно 24,0 кг і 11,3 кг стебеління. На тлі азотних добрив, внесених у дозі 160 кг д. р./га, внесення фосфорних і калійних добрив у різних дозах мало неоднаковий вплив на формування врожаю стебеління. Так, за внесення $P_{60}K_{110}$ приріст урожайності складав лише 5 %, а за внесення $P_{30}K_{55}$, $P_{60}K_{55}$ і $P_{30}K_{110}$ – був ще нижчим.

Погодні умови у роки проведення досліджень мали значний вплив на врожайність стебеління кукурудзи. Так, на ділянках дослідів без внесення добрив у 2022 році вона була найнижчою – 10,69 т/га, а в 2023 році – найвищою – 17,17 т/га, що більше на 61 %. Погодні умови також впливали на приріст урожайності стебеління від добрив. Так, у виробничому контролі (варіант дослідів $N_{160}P_{60}K_{110}$) порівняно з неудобреними ділянками приріст у 2022, 2023 і 2024 роках відповідно складав 62 %, 57 і 73 %. Ці відмінності на нашу думку, можна пояснити різними умовами зволоження.

За перерахунку показника врожайності стебеління кукурудзи на суху масу простежуються аналогічні закономірності як за варіантами дослідів, так і за роками проведення досліджень. Незначні відмінності пояснюються як рівнем забезпеченості вологою, так і особливостей удобрення на вміст вологи у стебелінні кукурудзи. Так, у 2022 році вміст води у стебелінні на неудобрених ділянках склав 29,3 %, а в 2023 і в 2024 роках – відповідно 32,4 і 38,7 %. На ділянках з внесенням мінеральних добрив ці показники майже не змінювалися.

Під час розрахунку балансу гумусу та поживних речовин у ґрунті, розрахунку доз добрив враховують показник відношення маси стебеління до маси зерна. Як показали проведені дослідження, він залежить не лише від гібриду культури і родючості ґрунту, але і від погодних умов вегетаційного

періоду та особливостей удобрення (табл. 4.3).

Таблиця 4.3

Відношення маси стебелин до маси зерна кукурудзи за різних видів і доз добрив

Варіант досліджу	Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Показник за фактичної вологості				
Без добрив (контроль)	1,28	1,38	1,43	1,36
N ₈₀	1,31	1,42	1,45	1,39
N ₁₆₀	1,34	1,53	1,99	1,62
P ₆₀ K ₁₁₀	1,25	1,40	1,40	1,35
N ₁₆₀ K ₁₁₀	1,35	1,55	1,97	1,62
N ₁₆₀ P ₆₀	1,34	1,54	1,98	1,62
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	1,34	1,47	1,49	1,43
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	1,37	1,60	2,00	1,66
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	1,36	1,61	1,99	1,65
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	1,36	1,59	2,00	1,65
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	1,37	1,60	2,01	1,66
Показник у перерахунку на абсолютно суху масу				
Без добрив (контроль)	1,05	1,08	1,02	1,05
N ₈₀	1,08	1,12	1,03	1,08
N ₁₆₀	1,10	1,20	1,42	1,24
P ₆₀ K ₁₁₀	1,03	1,10	1,00	1,04
N ₁₆₀ K ₁₁₀	1,11	1,22	1,40	1,24
N ₁₆₀ P ₆₀	1,10	1,21	1,41	1,24
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	1,10	1,16	1,06	1,11
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	1,13	1,26	1,43	1,27
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	1,12	1,27	1,42	1,27
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	1,12	1,25	1,43	1,27
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	1,13	1,26	1,43	1,27

Як видно з даних табл. 4.3, відношення між масою стебелин та зерна змінювалося в широких межах – від 1,19 до 2,01. У середньому за три роки проведення досліджень він змінювався від 1,35 до 1,66 і був найвищим у варіантах досліджу з внесенням повного мінерального добрива, де доза азотних добрив становила 160 кг д. р./га.

Відношення маси стебелин до маси зерна було низьким – 1,35–1,43

на ділянках досліду без внесення азотних добрив або за їх дози 80 кг д. р./га. З основних елементів живлення в складі повного мінерального добрива ($N_{160}P_{60}K_{110}$) найбільше сприяло його розширенню азотна складова – з 1,35 до 1,66, тоді як фосфорна й калійна – лише на 0,04 од.

Відношення маси стебеління до маси зерна значно залежить від погодних умов і на ділянках досліду виробничого контролю ($N_{160}P_{60}K_{110}$) змінювалося від 1,37 в умовах 2022 року до 2,00 – у 2024 році.

Вологість стебеління й зерна кукурудзи мають суттєвий вплив на відношення між масами їх сухих речовин (див. табл. 4.3). Порівняно з показником, розрахованим на сиру масу, цей показник є більш стабільним – зміни за роки проведення досліджень були меншими – від 1,02 до 1,43 залежно від удобрення та погодних умов року. У 2022 році це відношення змінювалося від 1,05 до 1,13 залежно від удобрення, тоді як в умовах 2024 року розмах цього показника був значно більшим – від 1,02 до 1,43.

У середньому за три роки проведення досліджень показник відношення сухої маси стебеління до маси зерна кукурудзи залежно від варіанту досліду було в межах 1,05–1,27. Найбільше сприяло його розширенню внесення азотних добрив. Вплив фосфорних і калійних добрив у складі повного мінерального добрива був незначним – лише на 0,03 одиниці, або підвищення складало до 3 %.

Отже, рівень та особливості удобрення кукурудзи потрібно враховувати для встановлення показника відношення маси стебеління до маси зерна. Удобрення, особливо поліпшення азотного живлення, сприяє збільшенню частки стебеління в урожаї. Зерно і стебеління мають різний вміст поживних речовин, що в свою чергу буде впливати і на господарське винесення їх врожаєм.

4.2 Якість зерна кукурудзи

У середньому за три роки натура зерна кукурудзи мала тенденцію до

збільшення за вирощування на системах з азотною складовою (табл. 4.2). Так, за вирощування на ділянках без добрив натура зерна становила 732 г/л, а за внесення комбінацій добрив з азотною складовою – 738–750 г/л. При цьому фосфорно-калійна система не впливала на формування цього показника.

Натура зерна була найвищою в 2023 р. – 766–779 г/л, у 2022 р. – 752–765, а в 2024 р. – 679–965 г/л (табл. 4.4). Проте вплив удобрення на цей показник був недостовірним.

Таблиця 4.4

Формування натури зерна кукурудзи за різних видів і доз добрив, г/л

Варіант	Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Без добрив	752	766	679	732
N ₈₀	755	769	690	738
N ₁₆₀	760	745	693	733
P ₆₀ K ₁₁₀	749	768	673	730
N ₁₆₀ K ₁₁₀	760	779	692	744
N ₁₆₀ P ₆₀	756	771	694	740
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	750	771	692	738
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	762	761	692	738
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	758	759	693	737
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	760	770	694	741
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	765	758	695	739
HIP ₀₅	38	37	31	—

У середньому за три роки досліджень вміст крохмалю в зерні кукурудзи знижувався від внесення добрив (табл. 4.5). Так, у варіанті без добрив його вміст становив 71,8 %, а за вирощування кукурудзи на системах, що містили азотну складову знижувався до 70,9–71,4 %. Необхідно відзначити, що вміст крохмалю майже не змінювався від року проведення досліджень. Так, у 2022 і 2024 рр його вміст був у межах 71,1–72,4 %, а в 2023 р. – 70,4–71,3 %.

Таблиця 4.5

Формування вмісту крохмалю в зерні кукурудзи за різних видів і доз добрив, %

Варіант	Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Без добрив	71,8	71,3	72,4	71,8
N ₈₀	71,2	70,9	72,1	71,4
N ₁₆₀	71,1	70,7	71,8	71,2
P ₆₀ K ₁₁₀	71,8	71,2	72,9	72,0
N ₁₆₀ K ₁₁₀	71,1	70,7	71,3	71,0
N ₁₆₀ P ₆₀	71,2	70,6	71,4	71,1
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	71,2	70,7	72,1	71,3
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	71,3	70,5	71,2	71,0
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	71,1	70,4	71,1	70,9
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	71,1	70,4	71,3	70,9
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	71,2	70,6	71,2	71,0
НІР ₀₅	3,6	3,1	3,5	—

Найбільший збір крохмалю забезпечували системи удобрення з азотною складовою (табл. 4.6). Так, у середньому за три роки збір крохмалю збільшувався від 7,44 т/га на ділянках без добрив до 9,66 т/га за внесення N₈₀ і до 10,24 т/га за внесення N₁₆₀. У варіанті N₈₀P₃₀K₅₅ збір крохмалю збільшувався до 9,87 т/га або на 2 %, а за повного повернення основних елементів живлення – до 10,45 т/га, або на 2 % порівняно з азотними системами.

Таблиця 4.6

Збір крохмалю з урожаю зерна кукурудзи за різних видів і доз добрив, т/га

Варіант	Рік проведення досліджень	Середнє за
---------	---------------------------	------------

	2022	2023	2024	три роки
Без добрив	6,00	8,87	7,46	7,44
N ₈₀	8,20	10,90	9,88	9,66
N ₁₆₀	8,89	11,40	10,41	10,24
P ₆₀ K ₁₁₀	6,38	9,72	7,95	8,02
N ₁₆₀ K ₁₁₀	8,89	11,61	10,27	10,25
N ₁₆₀ P ₆₀	8,94	11,68	10,35	10,32
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	8,42	11,11	10,09	9,87
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	9,03	11,86	10,47	10,45
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	8,72	11,59	10,38	10,23
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	8,90	11,70	10,48	10,36
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	8,94	11,69	10,32	10,32

Застосування удобрення значно впливало на формування вмісту білка в зерні кукурудзи (табл. 4.7). Так, у середньому за три роки вміст білка зростав від 6,5 до 8,3 % за внесення N₈₀ і до 8,6 % у варіанті N₁₆₀. Застосування найбільшої дози азотних добрив з різним поверненням фосфорних і калійних добрив сприяло підвищенню вмісту білка до 9,1–9,2 %, що свідчить про синергізм між основними елементами живлення.

Вміст білка також змінювався залежно від року проведення досліджень. Так, у 2024 р. його вміст був найвищим – 8,7–10,3 %, у 2023 р. – 9,0–9,8 %, а в 2022 р. – 7,1–7,5 %. Очевидно на цей показник впливала кількість опадів у період досягання зерна. Так, у 2024 р. за цей період випало лише 17,1 мм опадів, у 2023 р. – 12,4 мм, а в 2022 р. – 44,4 мм. Крім цього, в 2023 і 2024 рр. у цей період була вища температура повітря порівняно з 2022 р. При цьому ефективність систем удобрення також значно змінювалась. У 2024 р. вміст білка зростав на 66 %, у 2022 р. – на 34 %, а в 2023 р. – на 28 %.

Таблиця 4.7

Формування вмісту білка в зерні кукурудзи за різних видів і доз добрив, %

Варіант	Рік проведення досліджень	Середнє за
---------	---------------------------	------------

	2022	2023	2024	три роки
Без добрив	5,6	7,6	6,2	6,5
N ₈₀	7,1	9,0	8,7	8,3
N ₁₆₀	7,2	9,4	9,1	8,6
P ₆₀ K ₁₁₀	5,5	7,7	6,3	6,5
N ₁₆₀ K ₁₁₀	7,3	9,1	9,2	8,5
N ₁₆₀ P ₆₀	7,3	9,2	9,2	8,6
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	7,1	9,2	8,8	8,4
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	7,5	9,7	10,3	9,2
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	7,4	9,8	10,2	9,1
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	7,5	9,7	10,1	9,1
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	7,3	9,8	10,3	9,1
<i>НІР</i> ₀₅	0,4	0,5	0,7	—

У середньому за три роки збір білка з урожаю зерна кукурудзи збільшувався від 0,68 до 1,13 т/га за внесення 80 кг/га д. р. азотних добрив і до 1,25 т/га за внесення подвійної дози азотних добрив (табл. 4.8). За вирощування кукурудзи у варіанті з поверненням половини основних елементів живлення збір білка збільшувався до 1,17 або на 72 %, а за внесення повного мінерального добрив – до 1,37 т/га, або в 2,0 рази порівняно з контролем. При цьому цей показник був лише на 4–10 % більшим порівняно з азотними системами удобрення. Збір білка за вирощування на азотно-фосфорних, азотно-калійних і з неповним поверненням фосфорних й калійних добрив був на рівні варіанту N₁₆₀P₆₀K₁₁₀.

Найменше на збір білка впливало застосування фосфорно-калійної системи удобрення. За такого сценарію вирощування збір білка збільшувався лише на 9 %. Необхідно відзначити, що збір білка змінювався залежно від року дослідження. Так, у 2023 р. він був найбільшим – 0,95–1,63 т/га, а найменшим у 2022 р. – 0,47–0,94 т/га залежно від варіанту досліду.

Таблиця 4.8

**Збір білка з урожаю зерна кукурудзи за різних видів і доз добрив,
т/га**

Варіант	Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Без добрив	0,47	0,95	0,64	0,68
N ₈₀	0,82	1,38	1,19	1,13
N ₁₆₀	0,90	1,52	1,32	1,25
P ₆₀ K ₁₁₀	0,49	1,05	0,69	0,74
N ₁₆₀ K ₁₁₀	0,91	1,49	1,32	1,24
N ₁₆₀ P ₆₀	0,92	1,52	1,33	1,26
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	0,84	1,45	1,23	1,17
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	0,95	1,63	1,51	1,37
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	0,91	1,61	1,49	1,34
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	0,94	1,61	1,48	1,35
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	0,92	1,62	1,49	1,34

Вміст жиру, в середньому за три роки досліджень, був у межах 2,9–3,1 % залежно від варіанту досліду (табл. 4.9).

Таблиця 4.9

Формування вмісту жиру в зерні кукурудзи за різних видів і доз добрив, %

Варіант	Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Без добрив	3,0	3,6	2,6	3,1
N ₈₀	3,0	3,5	2,6	3,0
N ₁₆₀	3,0	3,3	2,7	3,0
P ₆₀ K ₁₁₀	3,1	3,5	2,6	3,1
N ₁₆₀ K ₁₁₀	3,1	3,3	2,7	3,0
N ₁₆₀ P ₆₀	3,2	3,4	2,7	3,1
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	3,0	3,4	2,5	3,0
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	3,2	3,3	2,6	3,0
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	3,0	3,3	2,6	3,0
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	3,2	3,2	2,7	3,0
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	3,0	3,2	2,6	2,9
<i>HIP</i> ₀₅	0,1	0,1	0,1	—

При цьому не встановлено тенденції до зниження або підвищення цього показника. Вміст жиру в зерні кукурудзи мало змінювався за роки проведення досліджень. Так, у 2022 і 2023 рр. його вміст був 3,0–3,6 %, а в 2024 р. – 2,6–2,7 % залежно від системи удобрення.

Вирощування кукурудзи також може забезпечити збір жиру на рівні 0,32–0,45 т/га залежно від виду та доз добрив (табл. 4.10). При цьому необхідно відзначити, що системи удобрення, крім фосфорно-калійної, забезпечували майже однаковий його збір – 0,41–0,45 т/га.

Таблиця 4.10

**Збір жиру з урожаю зерна кукурудзи за різних видів і доз добрив,
т/га**

Варіант	Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Без добрив	0,25	0,45	0,27	0,32
N ₈₀	0,35	0,54	0,36	0,41
N ₁₆₀	0,38	0,53	0,39	0,43
P ₆₀ K ₁₁₀	0,28	0,48	0,28	0,35
N ₁₆₀ K ₁₁₀	0,39	0,54	0,39	0,44
N ₁₆₀ P ₆₀	0,40	0,56	0,39	0,45
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	0,35	0,53	0,35	0,41
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	0,41	0,56	0,38	0,45
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	0,37	0,54	0,38	0,43
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	0,40	0,53	0,40	0,44
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	0,38	0,53	0,38	0,43

Найбільший збір жиру отримано за вирощування кукурудзи у 2023 р. – 0,45–0,56 т/га, а найменший в 2022 р. – 0,25–0,41 т/га. У 2024 р. збір жиру був на рівні 0,32–0,45 т/га. При цьому тенденція впливу удобрення була подібною.

Результати проведених досліджень показали, що між вмістом крохмалю та вмістом білка в зерні кукурудзи існує обернений дуже високий кореляційний зв'язок ($r=-0,91$) (рис. 4.1). У результаті отримано рівняння регресії цієї залежності:

$$y = -2,5432x + 189,53,$$

де y – вміст білка, %;

x – вміст крохмалю, %.

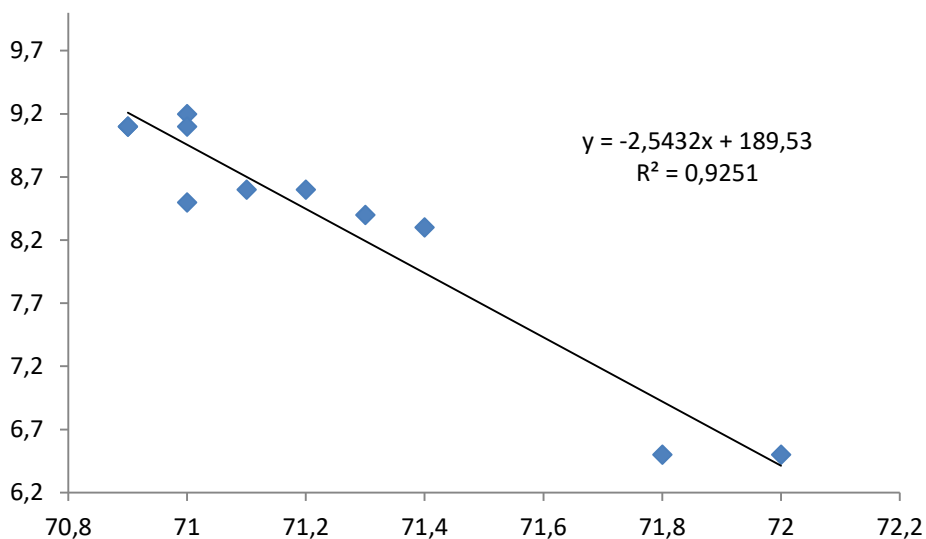


Рис. 4.1 Кореляційна залежність між вмістом білка та вмістом крохмалю в зерні кукурудзи

У результаті проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

Урожайність та якість зерна кукурудзи достовірно змінюється залежно від видів і доз добрив, рівень прояву яких визначається погодними умовами. У середньому за три роки досліджень урожайність збільшується від 10,36 до 14,73 т/га залежно від варіанту досліду. За внесення N_{80} цей показник збільшується до 13,53 т/га або на 31 % порівняно з ділянками без добрив. У варіанті з подвійною дозою азотних добрив урожайність становить 14,38 т/га або більше на 39 %. Необхідно відзначити, що врожайність при цьому лише на 6 % більшою порівняно з внесенням N_{80} . За внесення половини від повного мінерального добрива збільшує врожайність до 13,84 т/га або на 34 % порівняно з контролем. За внесення повного мінерального добрива вона збільшується до 14,73 т/га або на 42 %. Необхідно відзначити, що при цьому врожайність лише на 2 % більша порівняно з азотними системами удобрення.

Урожайність зерна кукурудзи за вирощування на азотно-калійній, азотно-фосфорній системі та з неповним поверненням фосфорних і калійних добрив на рівні варіанту з повним поверненням елементів живлення.

Найменше на врожайність кукурудзи впливає застосування фосфорних і калійних добрив. Як у середньому, так і за роки проведення досліджень урожайність збільшується недостовірно порівняно з варіантом без добрив.

У середньому за три роки досліджень вміст крохмалю в зерні кукурудзи знижувався від внесення добрив. Так, у варіанті без добрив його вміст становить 71,8 %, а за вирощування кукурудзи на системах, що містять азотну складову знижується до 70,9–71,4 %.

Застосування удобрення значно впливає на формування вмісту білка в зерні кукурудзи. Так, у середньому за три роки вміст білка зростає від 6,5 до 8,3 % за внесення N_{80} і до 8,6 % у варіанті N_{160} . Застосування найбільшої дози азотних добрив з різним поверненням фосфорних і калійних добрив сприяє підвищенню вмісту білка до 9,1–9,2 %, що свідчить про синергізм між основними елементами живлення.

У Правобережному Лісостепу доцільно застосовувати $N_{80}P_{30}K_{55}$, що забезпечує формування 11,82–15,72 т/га зерна з вмістом крохмалю 70,7–72,1 %, його збір – 8,42–11,11 т/га, вмістом білка – 7,1–9,2 %, його збір – 0,84–1,45 т/га.

Результати, описані в розділі, опубліковано в працях [182, 138].

РОЗДІЛ 5

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСВОЄННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ЖИВЛЕННЯ КУКУРУДЗОЮ ЗА РІЗНИХ ВИДІВ І ДОЗ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ

Кукурудза є основною зернофуражною культурою в Україні. Серед усіх сільськогосподарських культур її посівні площі та валові збори за останні десятиріччя зросли найбільше. Досягнення високої продуктивності кукурудзи можливе лише за достатнього мінерального живлення рослин і є основною передумовою реалізації генетичного потенціалу сучасних гібридів [149]. Разом з тим, необхідно оптимізувати живлення рослин для запобігання надлишкового застосування добрив, щоб запобігти забрудненню довкілля та зниження економічної доцільності їх застосування. Сучасні гібриди кукурудзи дуже вимогливі до технології вирощування. Порушення певних складових технології, стресові погодні умови зазвичай різко знижують продуктивність культури [148].

Формування високої продуктивності сільськогосподарських культур за сучасними агротехнологіями, дефіциту мінерального живлення за недостатнього внесення добрив, зміни кліматичних і агрометеорологічних умов у бік недостатнього та нестабільного зволоження впродовж вегетації рослин загострює питання оптимізації живлення рослин [25]. Оптимальне мінеральне живлення сільськогосподарських культур забезпечується застосуванням удобрювальних продуктів, в яких оптимально поєднуються основні та інші елементи живлення з урахуванням агрохімічних показників і властивостей ґрунту та вимог вирощуваних культур. Однак, нині в Україні у співвідношенні елементів живлення у внесених добривах суттєва перевага азотних добрив – 1 : 0,29 : 0,26. Це значно нижче середнього показника у розвинутих країн (1 : 0,57 : 0,55) [106].

Кукурудза вимоглива до підвищеного мінерального живлення і як культура з тривалим вегетаційним періодом засвоює поживні речовини упродовж всього життєвого циклу. Ефективність внесення добрив під

кукурудзу залежить від родючості ґрунту, біологічних характеристик гібриду, погодних умов, системи удобрення тощо [169]. До живлення, особливо щодо основних його елементів, кукурудза досить вимоглива [168]. Лише за оптимального співвідношення між елементами живлення проходить збалансоване засвоєння їх рослинами, що сприяє формуванню більшого врожаю та поліпшенню якості продукції [109].

Нині селекціонерами створено гібриди кукурудзи з високою продуктивністю, що здатні формувати урожайність у виробничих умовах до 16–18 т/га [26] за оптимального поєднання максимальної кількості чинників життя рослин (забезпечення рослин поживними речовинами, вологою і теплом) [23]. Вважається [152], що генетичний потенціал гібридів є основним чинником формування високої продуктивності посіву, але його реалізація у виробничих умовах значно залежить від адаптованості до погодних умов вегетаційного періоду та реакції рослин на мінеральне живлення.

Діагностика мінерального живлення кукурудзи є важливим чинником забезпечення відповідного агрохімічного навантаження агротехнологій. Вона включає ґрунтову та рослинну діагностику, які взаємодоповнюють одна одну. Тому важливо розробляти нормативні параметри вмісту макро- й мікроелементів у ґрунті та рослинах або їх окремих індикаторних органах, за якими оцінюють забезпеченість ними рослин у взаємозв'язку зі складовими формування їх продуктивності. Нині продовжуються дослідження у цьому напрямі з метою доповнення та уточнення інформаційної бази діагностики мінерального живлення кукурудзи у різних ґрунтово-кліматичних і погодно-кліматичних умовах [123]. Це дозволить оптимізувати системи удобрення з метою підвищення ефективності вирощування культури залежно від змінних чинників технології (гібриду, агрокліматичного потенціалу та матеріально-технічного забезпечення).

У найближчій перспективі сталий поступальний розвиток виробництва кукурудзи досягатиметься завдяки інноваційній складовій інтенсивних

технологій вирощування, у тому числі й впровадженням новітніх гібридів із високим потенціалом продуктивності [86]. Водночас гібриди кукурудзи характеризуються різною потребою в елементах живлення, тривалості вегетаційного періоду, типу зерна, рівня адаптивності та інших біологічних особливостей [154]. Тому встановлення оптимальних параметрів забезпеченості культури основними елементами живлення для обґрунтування та удосконалення технологій вирощування з метою забезпечення формування високої продуктивності кукурудзи є актуальним завданням.

5.1 Вміст основних елементів живлення в зерні та стебелинні

Розробка та застосування практик, які забезпечують достатнє та збалансоване живлення сільськогосподарських культур необхідними елементами є важливим напрямом досліджень. Це сприятиме підвищенню продуктивності та відновленню родючості культурних ґрунтів в умовах змін клімату та дефіциту ресурсів. Серед зазначеного важливим є удосконалення методичних підходів виявлення дисбалансу живлення польових культур, розширення засобів його діагностики для вчасного корегування режиму живлення рослин під час вегетації [106]. Рослинна діагностика загалом включає візуальну, хімічну та функціональну. Хімічна діагностика вказує на поточний статус поживних речовин у ній – які елементи живлення були фактично засвоєні та, можливо, які не були поглинуті взагалі. Діапазони достатньої кількості для кожного елемента живлення різняться залежно від видів, сортів і гібридів культур. Крім того, іноді елементи живлення в рослині накопичуються надлишково від їх необхідної кількості для нормального розвитку. Нестача або надлишок одного з елементів може порушувати оптимальне їх поєднання та надходження в рослину іншого елемента. Тому, основним завданням удосконалення методу діагностики збалансованості мінерального живлення рослин є оптимізація системи

удобрення за поєднанням основних елементів мінерального живлення в межах ґрунтових ареалів, які відрізняються за гідротермічними умовами. Це дозволить стабільно збільшувати інтенсивність засвоєння елементів живлення рослинами з одночасним підвищенням продуктивності [106].

Для формування стратегії підвищення ефективності засвоєння окремих елементів живлення рослинами кукурудзи з внесених добрив необхідно враховувати взаємодію гібриду, навколишнього середовища та складових технології вирощування культури [148]. Наскільки є мінливими показники вмісту основних елементів живлення в зерні та стебелі кукурудзи, підтверджується аналізом даними з літературних джерел [191]. Так, у зерні межі вмісту азоту 1,44–2,99 %, P_2O_5 – 0,34–1,50 і K_2O – 0,44–0,81 %, а в стебелі – відповідно 0,16–0,74 %, 0,021–1,44 та 0,86–0,67 %. Згідно з ефектом «ростового розбавлення» (dilution effect) концентрація елементів живлення за формування вищого врожаю у тканинах рослин зменшується [192]. Це може бути критичним для реалізації генетичного потенціалу гібриду, тому використовується для діагностики живлення рослин [188].

З даних літератури загальновідомі рівні-параметри забезпеченості кукурудзи елементами живлення у взаємозв'язку з урожайністю зерна. Проте нині ці показники вимагають коригування, адже суттєво зросла середня урожайність кукурудзи, що пов'язано з впровадженням у виробництво більш продуктивних гібридів, які ефективніше використовують поживні речовини на створення одиниці продукції. Нині напрям наукового обґрунтування мінерального живлення сільськогосподарських культур спрямований на генотипову ідентифікацію оптимальних параметрів їх забезпеченості елементами живлення в розробці систем удобрення, а саме в їх збалансованості для більш повної реалізації потенціалу сортів і гібридів [148].

З огляду на зміни клімату в напрямі зростання його посушливості, важливим питанням є оптимізація мінерального живлення

сільськогосподарських культур. Засвоєння елементів живлення безпосередньо залежить від вологості ґрунту. За екстремально посушливих умов збалансоване живлення макро- та мікроелементами у критичні періоди росту й розвитку рослин сприяє підвищенню використання води і азоту з ґрунту та сприяє збільшенню врожайності культур у середньому на 20–25 % [31]. За недостатнього вологозабезпечення в зоні Степу виявлено реакцію гібридів кукурудзи на зміну рівня удобрення залежно від групи стиглості. Рослини накопичували різну кількість макро- та мікроелементів, що свідчить про необхідність оптимізації мінерального живлення з врахуванням сортових особливостей культури [82]. Нині широко проводяться дослідження зі створення стійких до посухи гібридів кукурудзи, що здатні в таких умовах поглинати елементи живлення для формування врожай [94].

За вирощування кукурудзи на темно-сірому опідзоленому ґрунті Лісостепу з дуже низьким рівнем забезпеченості азотом, підвищеним і високим – калієм та фосфором. Виявлено гібридну специфіку накопичення основних елементів живлення рослинами кукурудзи в онтогенезі [82]. Усі гібриди, що вивчалися в досліді, характеризувалися високою тісністю кореляційних зв'язків між врожайністю та вмістом у рослинах азоту ($r = 0,76–0,93$) та калію ($r = 0,76–0,94$) на противагу фосфору, де ці зв'язки були середньої сили ($r = 0,33–0,59$) та лише частково – тісними ($r = 0,70–0,81$).

Кукурудза, порівняно з іншими зерновими культурами, вимогливіша до умов мінерального живлення. Показники хімічного складу рослин суттєво варіюють залежно від фази розвитку, рівня живлення культури і погодних умов. До того ж слід відзначити значні зміни вмісту елементів живлення за фазах розвитку рослин – відхилення від середніх значень становить 5–28 %. Особливо суттєві відмінності у фазі повної стиглості зерна – для листостеблової маси (31–86 %). Хімічний склад зерна від удобрення зазнає менших змін, за винятком азоту. Вміст азоту зростає на 12 %, тоді як фосфору на 3 %, а вміст калію не змінювався [156].

Вміст елементів живлення в зерні характеризується відносно сталими

показниками. Це пов'язано насамперед із генетичною спадковістю рослинного організму, подоланням низки фізіологічних бар'єрів під час поглинання їх кореневою системою рослини (табл. 5.1–5.3).

Найбільший вплив на формування продуктивності кукурудзи має азот. Він входить до складу білкових та інших важливих органічних сполук. Необхідна кількість азоту інтенсифікує утворення білкових речовин, стимулює ріст і гальмує старіння рослин. Оптимізація азотного живлення сприяє підвищенню врожайності та якості зерна. За достатнього забезпечення рослин азотом збільшується засвоєння рослинами й інших елементів живлення – фосфору, калію, кальцію, магнію, сірки, міді, заліза, мангану та цинку [84].

Для побудови оптимальної системи азотного живлення кукурудзи необхідно знати динаміку засвоєння азоту рослинами. На початку вегетації засвоєння азоту є незначним, 3–5 % від загальної кількості. Після цього надходження зростає й досягає максимуму під час викидання волоті. Вже 85 % необхідної кількості азоту кукурудза поглинає до фази всихання квіткових стовпчиків на качанах [146]. За недостатнього живлення азотом гальмується ріст і розвиток рослин, що знижує їх продуктивність.

Ефективне управління азотним живленням кукурудзи має вирішальне значення для досягнення потенційного врожаю та зниження негативного впливу на довкілля. З одного боку, кукурудза сильно залежить від наявності азоту для формування врожаю та залежить від зовнішнього надходження азоту в систему [36], з іншого – надмірне надходження азоту пов'язують із несприятливими наслідками для довкілля, такими як евтрофікація прісноводних і морських екосистем, забруднення підземних вод і викидами парникових газів (N_2O) [132]. З цих причин сучасні рекомендації пропонують проводити періодичну діагностику вмісту азоту в культурах, щоб запобігти надмірному його надходженню в сільськогосподарську систему [15]. Встановлення відповідності між надходженням азоту та потребою в ньому культур є важливим, але складним завданням.

На засвоювання азоту впливають генетичні особливості гібридів кукурудзи. Гібриди інтенсивного типу розвитку мають позитивну реакцією на поліпшення мінерального живлення. Пластичні гібриди кукурудзи формують задовільну продуктивність за низького тла живлення та на ґрунтах із низькою родючістю [37].

Як видно з даних табл. 5.1, вміст азоту в зерні кукурудзи залежно від удобрення різними дозами та видами мінеральних добрив і їх поєднання, а також гідротермічних умов вегетаційного періоду змінювався в межах від 0,92 до 1,72 % на суху масу. Навіть на ділянках без добрив погодні умови 2023 року, порівняно з 2022 роком сприяли підвищенню його вмісту на 40 %, тоді як на ділянках з внесенням повного мінерального добрива ($N_{160}P_{60}K_{110}$) – було меншим і становило 30 %. Це свідчить, що поліпшення мінерального живлення рослин завдяки удобренню зменшує негативний вплив несприятливих погодних умов у період вегетації на вміст азоту в зерні кукурудзи.

Вплив різних видів мінеральних добрив на вміст азоту в зерні також залежав від гідротермічних умов вегетаційного періоду. Так, у варіантах досліді з внесенням лише азотних добрив у дозі 150 кг/га д. р. вміст азоту в зерні кукурудзи підвищувався на 29–48 % залежно від погодних умов. За внесення лише фосфорних і калійних добрив (варіант $P_{60}K_{110}$) зміни вмісту азоту в зерні порівняно з контролем без добрив були незначними – у межах помилки досліді.

Таблиця 5.1

**Формування вмісту азоту в зерні кукурудзи за різних видів і доз
мінеральних добрив, % на суху масу**

Варіант досліді	Рік проведення досліджень	Середнє за
-----------------	---------------------------	------------

	2022	2023	2024	три роки
Без добрив (контроль)	0,93	1,27	1,03	1,08
N ₈₀	1,18	1,50	1,45	1,38
N ₁₆₀	1,20	1,57	1,52	1,43
P ₆₀ K ₁₁₀	0,92	1,28	1,05	1,08
N ₁₆₀ K ₁₁₀	1,22	1,52	1,53	1,42
N ₁₆₀ P ₆₀	1,22	1,53	1,53	1,43
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	1,18	1,53	1,47	1,39
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	1,25	1,62	1,72	1,53
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	1,23	1,63	1,70	1,52
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	1,25	1,62	1,68	1,52
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	1,22	1,63	1,72	1,52
<i>HIP</i> ₀₅	0,06	0,08	0,09	—

У середньому за три роки проведення досліджень внесення лише фосфорних і калійних добрив або зниження доз їх внесення в складі повного мінерального добрива (варіанти N₁₆₀P₃₀K₅₅, N₁₆₀P₆₀K₅₅, N₁₆₀P₃₀K₁₁₀) не впливало на вміст азоту в зерні кукурудзи. Найбільший вплив на цей показник мало внесення азотних добрив як окремо, так і в поєднанні з іншими видами мінеральних добрив як у парних комбінаціях, так і в складі повного добрива. При цьому вміст азоту в зерні, порівняно з контролем підвищувався на 32–42 %. За внесення азотних добрив у складі повного добрива, порівняно з поєднанням їх лише з фосфорними або калійними добривами, у середньому за роки проведення досліджень спостерігалась лише незначна тенденція підвищення вмісту азоту в зерні.

Зниження дози внесення під кукурудзу повного мінерального добрива вдвічі (варіант N₈₀P₃₀K₅₅) зменшувало концентрацію азоту в зерні кукурудзи в середньому за три роки проведення досліджень на 9 %.

Отже, вміст азоту в зерні кукурудзи найбільше залежить від дози внесення азотних добрив, тоді як вплив фосфорних і калійних добрив

незначний – у порівнянні з парними комбінаціями основних елементів живлення підвищення його відповідно було на 8 і 7 %. За сприятливих гідротермічних умов вегетаційного періоду на тлі внесення повного мінерального добрива ($N_{160}P_{60}K_{110}$) вміст підвищувався на 38 %.

Фосфор входить в склад органідів і ядра клітин, бере участь в основних функціях рослинного організму, впливає на енергообмін, процес фотосинтезу, дихання, біосинтезу білків, жирів, крохмалю, сахарози, амінокислот та інших речовин. На відміну від азоту та калію, рослини кукурудзи засвоюють фосфору набагато менше. Фосфор є найбільш критичним елементом живлення на початку розвитку культури і надзвичайно важливим для розподілу енергії в рослині: на початкових стадіях – це формування кореневої системи, а згодом – протікання цвітіння та формування плодів. Найбільш ефективно та позитивно основні елементи живлення діють на рослини кукурудзи за їх комплексного застосування.

Вміст фосфору в зерні кукурудзи у 2,5–3 рази менший, ніж азоту (табл. 5.2). У середньому за три роки проведення досліджень він змінювався залежно від варіанту досліду в межах 0,44–0,49 % на суху масу. Це свідчить про значний вплив ґрунтового фосфору на його засвоєння рослинами і про чіткий генетичний контроль цього показника.

Таблиця 5.2

Формування вмісту фосфору (P_2O_5) у зерні кукурудзи за різних видів і доз мінеральних добрив, % на суху масу

Варіант досліду	Рік проведення досліджень	Середнє за
-----------------	---------------------------	------------

	2022	2023	2024	три роки
Без добрив (контроль)	0,48	0,40	0,43	0,44
N ₈₀	0,48	0,40	0,44	0,44
N ₁₆₀	0,49	0,42	0,45	0,45
P ₆₀ K ₁₁₀	0,49	0,44	0,47	0,47
N ₁₆₀ K ₁₁₀	0,49	0,41	0,45	0,45
N ₁₆₀ P ₆₀	0,50	0,45	0,48	0,48
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	0,49	0,42	0,45	0,45
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	0,51	0,46	0,49	0,49
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	0,50	0,45	0,48	0,48
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	0,51	0,46	0,47	0,48
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	0,49	0,45	0,48	0,47
<i>HIP</i> ₀₅	0,02	0,01	0,02	—

За внесення під кукурудзу лише фосфорних і калійних добрив вміст фосфору в зерні кукурудзи у середньому за три роки проведення досліджень підвищувався на 5 %, тоді як за поєднання фосфорних добрив з азотними (варіант N₁₆₀P₆₀) – на 7 %. За внесення повного мінерального добрива (варіант N₁₆₀P₆₀K₁₁₀) у зерні кукурудзи вміст фосфору був 0,49 % на суху масу, що на 11 % більше, ніж у контрольному варіанті досліду без добрив.

За зниження дози фосфорних добрив у складі повного добрива (варіант N₁₆₀P₃₀K₁₁₀) спостерігалась тенденція зменшення концентрації фосфору в зерні до 0,47 % на суху масу.

Гідротермічні умови років проведення досліджень, порівняно з удобренням, мали більший вплив на вміст фосфору в зерні кукурудзи, що свідчить про різну доступність фосфатів з чорнозему опідзоленого. Так, на ділянках без добрив його вміст за сприятливих погодних умов підвищувався на 20 %, тоді як за внесення навіть лише азотних добрив (N₁₆₀) ці зміни були менш значними – 17 %, а за внесення повного добрива (варіант N₁₆₀P₆₀K₁₁₀) – лише 11 %.

Отже, вміст фосфору в кукурудзи, порівняно з азотом, є більш стабільним показником і змінюється залежно від гідротермічних умов року й удобрення від 0,40 до 0,49 % на суху масу, або на 23 %. При цьому системи удобрення мають значно менший вплив – у середньому за три роки проведення досліджень його вміст становив 0,44–0,49 % на суху масу, або змінювався на 11 %.

Калій, поряд із фосфором відповідає за формування та розвиток кореневої системи, яка забезпечує рослину іншими елементами живлення. За його нестачі коренева система розвивається слабо, у рослин знижується стійкість до вилягання, ріст рослин гальмується, знижується озерненість качанів та інтенсивність фотосинтезу, що спричиняє зниження вмісту амінокислот, цукрів і крохмалю [100]. Калій підвищує стійкість рослин до хвороб і шкідників, регулює водний режим і підвищує їх посухостійкість. За дефіциту калійного живлення знижується засвоєння азоту та деяких мікроелементів – міді, мангану й цинку. Недостатнє живлення калієм в меншій мірі знижує врожай, ніж нестача азоту, а внесення підвищених доз калійних добрив не сприяло збільшенню врожаю. Проте посилене калійне живлення позитивно впливає на продуктивність кукурудзи за посушливих умов [140].

У проведених дослідках вміст калію в зерні кукурудзи порівняно з азотом був значно меншим, але наближався до вмісту фосфору (табл. 5.3).

Таблиця 5.3

Формування вмісту калію (K_2O) в зерні кукурудзи за різних видів і доз мінеральних добрив, % на суху масу

Варіант досліджу	Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	

Без добрив (контроль)	0,41	0,35	0,31	0,36
N ₈₀	0,41	0,36	0,31	0,36
N ₁₆₀	0,42	0,37	0,32	0,37
P ₆₀ K ₁₁₀	0,45	0,38	0,33	0,39
N ₁₆₀ K ₁₁₀	0,46	0,40	0,34	0,40
N ₁₆₀ P ₆₀	0,42	0,36	0,32	0,37
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	0,43	0,37	0,33	0,38
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	0,48	0,42	0,35	0,42
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	0,47	0,41	0,33	0,40
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	0,46	0,40	0,34	0,40
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	0,48	0,41	0,34	0,41
<i>HIP</i> ₀₅	0,02	0,02	0,01	—

Як видно з даних табл. 5.3, вміст калію в зерні в середньому за три роки проведення досліджень змінювався в межах 0,36–0,42 % на суху масу або на 17 %. Це свідчить, що цей показник контролюється як генетично, а також про достатній рівень забезпеченості рослин калієм на чорноземі опідзоленому. При цьому за внесення азотних добрив у дозі 160 кг/га д. р. спостерігалась тенденція підвищення вмісту калію в зерні на 0,1 % на суху масу, тоді як на фосфорно-калійному тлі (варіант P₆₀K₁₁₀) дія азотних добрив була більш суттєвою. Підвищення вмісту калію в зерні було на 0,2 % на суху масу. Таку ж дію мали і фосфорні добрива на азотно-калійному тлі.

Зниження дози калійних добрив удвічі в складі повного мінерального добрива (варіант N₁₆₀P₆₀K₅₅) зменшувало вміст калію в зерні кукурудзи у середньому за три роки проведення досліджень на 5 %.

Необхідно також зазначити, що гідротермічні умови вегетаційного періоду кукурудзи впливали на вміст калію в зерні. Так, за вирощування кукурудзи на ділянках без добрив він був у межах 0,31–0,41 % на суху масу або змінювався на 32 %, тоді як за внесення повного мінерального добрива – змінювався на 37 %, що можна пояснити більшим накопиченням калію у

вегетативній масі рослин з наступною ремобілізацією в зерно. Цим також пояснюється й менша концентрація калію за посушливих умов вегетаційного періоду в 2024 році.

Отже, вміст калію в зерні кукурудзи залежить як від погодних умов, так і від особливостей системи її удобрення (доз, видів мінеральних добрив і їх поєднань).

Встановлено, що вміст азоту в стебелінні кукурудзи під час збирання врожаю значно нижчий, ніж у зерні (табл. 5.4). Це пояснюється його реутилізацією із листків і стебел у зерно.

Таблиця 5.4

Формування вмісту азоту в стебелінні кукурудзи за різних видів і доз мінеральних добрив, % на суху масу

Варіант досліджу	Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Без добрив (контроль)	0,31	0,35	0,38	0,35
N ₈₀	0,36	0,41	0,41	0,39
N ₁₆₀	0,38	0,44	0,43	0,42
P ₆₀ K ₁₁₀	0,30	0,35	0,38	0,34
N ₁₆₀ K ₁₁₀	0,38	0,44	0,44	0,42
N ₁₆₀ P ₆₀	0,39	0,45	0,43	0,42
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	0,37	0,43	0,42	0,41
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	0,40	0,48	0,45	0,44
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	0,39	0,47	0,44	0,43
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	0,38	0,48	0,45	0,44
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	0,40	0,49	0,44	0,44
<i>HIP</i> ₀₅	0,02	0,03	0,02	—

У роки проведення досліджень вміст азоту в стебелінні змінювався від 0,31 до 0,49 % на суху масу, тобто на 58 %. Вміст азоту в стебелінні менше залежав від удобрення, ніж від гідротермічних умов вегетаційного періоду. Так, у середньому за три роки він підвищувався від внесення повного мінерального добрива (варіант N₁₆₀P₆₀K₁₁₀) порівняно з неудобреними ділянками з 0,35 % до 0,44 % на суху масу, або на 26 %, тоді як у контрольному варіанті зміни від погодних умов були 23 %, а у варіанті

дослід з внесенням повного добрива (варіант $N_{160}P_{60}K_{110}$) – меншими – 16 %. Це свідчить, що удобрення за цим показником згладжує негативний вплив чинників погоди.

Найбільший вплив на підвищення вмісту азоту в стебелінні кукурудзи на тлі парних комбінацій основних елементів живлення мали азотні добрива – на 29 %, тоді як фосфорні й калійні – на 5 %. Зі зменшенням дози фосфорних і калійних добрив удвічі в складі повного мінерального добрива (варіант $N_{160}P_{30}K_{55}$) встановлено лише тенденцію зменшення вмісту азоту в стебелінні на 0,1 % на суху масу.

Отже, вміст азоту в стебелінні кукурудзи під час збирання врожаю залежно від удобрення та погодних умов вегетаційного періоду змінювався менше, ніж у зерні. Як зазначалось вище, це пояснюється переміщенням значної кількості азоту із листків і стебел у зерно.

Управління живлення рослин фосфором є важливим завданням у системах удобрення кукурудзи, головним чином для внесення достатньої кількості фосфорних добрив для формування високого врожаю та уникнення при цьому непродуктивних і шкідливих втрат для довкілля через застосування занадто великої кількості. Для встановлення дози фосфорних добрив широко використовують визначення вмісту в ґрунті рухомих фосфатів з відповідними значеннями оптимальних показників, які можуть змінюватися для деяких конкретних типів ґрунтів. Нині концентрацію фосфору в зерні з відповідним пороговим значенням також пропонують як новий метод управління фосфором [190]. Концентрація фосфору в зерні є функцією наявності та накопичення фосфору в ґрунті й у вегетативних частинах рослин, а також подальшого розведення, в тому числі і в урожаї зерна. Природно, що чим більша врожайність зерна, тим значніше розбавлення та нижча концентрація фосфору в зерні. Досліджень показують, що максимальні концентрації фосфору в зерні у роки з високою врожайністю нижчі, ніж у роки низькою врожайністю, що вказує на ефект розведення через високий рівень асиміляції у зерно. Тому вчені пропонують

рекомендації щодо фосфорного живлення для зернових культур ґрунтувати на вмісті рухомих сполук фосфору в ґрунті та уточнювати за вмістом фосфору в зерні.

Проведені дослідження показали, що з основних елементів живлення, в стебелинні кукурудзи вміст фосфору найнижчий – 0,10–0,19 % на суху речовину залежно від удобрення та погодних умов (табл. 5.5).

Таблиця 5.5

Формування вмісту фосфору (P_2O_5) у стебелинні кукурудзи за різних видів і доз мінеральних добрив, % на суху масу

Варіант досліджу	Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Без добрив (контроль)	0,13	0,11	0,10	0,11
N ₈₀	0,13	0,12	0,13	0,13
N ₁₆₀	0,14	0,13	0,14	0,14
P ₆₀ K ₁₁₀	0,16	0,15	0,16	0,16
N ₁₆₀ K ₁₁₀	0,14	0,12	0,13	0,13
N ₁₆₀ P ₆₀	0,17	0,16	0,17	0,17
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	0,14	0,13	0,14	0,14
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	0,19	0,19	0,18	0,19
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	0,18	0,17	0,16	0,17
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	0,19	0,18	0,18	0,18
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	0,17	0,17	0,17	0,17
<i>HIP</i> ₀₅	0,01	0,01	0,01	—

При цьому необхідно зазначити, що цей показник значно більше залежить від удобрення. Так, у середньому за три роки проведення досліджень вміст фосфору в стебелинні за повного удобрення (варіант N₁₆₀P₆₀K₁₁₀) підвищувався порівняно з контролем на 73 %, тоді як залежно від погодних умов змінювався в цих варіантах досліджу відповідно на 20 % і 5 %. Отже, внесення добрив забезпечує стабільніший вміст фосфору в

стебелінні кукурудзи.

Внесення під кукурудзу азотних добрив у дозі 80 і 160 кг/га д. р. сприяло підвищенню вмісту фосфору в стебелінні відповідно на 18 і 27 %. На тлі парних комбінацій основних елементів живлення азот сприяв підвищенню цього показника у варіанті досліді $N_{160}P_{60}K_{110}$ на 19 %, а фосфор і калій – відповідно на 46 і 12 %.

Зниження дози фосфорних добрив у складі повного добрива вдвічі (варіанти досліді $N_{160}P_{30}K_{110}$ і $N_{160}P_{30}K_{55}$) зменшувало вміст фосфору в стебелінні кукурудзи з 0,19 до 0,17 % на суху масу, або на 11 %.

Отже, вміст фосфору в стебелінні кукурудзи змінюється залежно від удобрення і значно менше залежить від гідротермічних умов вегетаційного періоду.

Вміст калію в стебелінні кукурудзи є більшим, ніж у суму азоту й фосфору, та змінюється залежно від погодних умов року й особливостей удобрення (табл. 5.6). За роки проведення досліджень ці зміни були у межах 1,17–1,30 % на суху масу. Порівняно з контролем без добрив, внесення повного мінерального добрива (варіанти досліді $N_{160}P_{30}K_{110}$ і $N_{160}P_{60}K_{110}$) сприяло підвищенню вмісту калію в стебелінні в середньому за роки проведення досліджень на 7 %.

Таблиця 5.6

Формування вмісту калію (K_2O) в стебелінні кукурудзи за різних видів і доз мінеральних добрив, % на суху масу

Варіант досліді	Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	

Без добрив (контроль)	1,27	1,17	1,21	1,22
N ₈₀	1,27	1,18	1,21	1,22
N ₁₆₀	1,28	1,19	1,21	1,23
P ₆₀ K ₁₁₀	1,30	1,20	1,25	1,25
N ₁₆₀ K ₁₁₀	1,33	1,21	1,28	1,27
N ₁₆₀ P ₆₀	1,29	1,18	1,22	1,23
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	1,28	1,19	1,23	1,23
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	1,36	1,23	1,30	1,30
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	1,34	1,21	1,28	1,28
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	1,35	1,21	1,29	1,28
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	1,37	1,23	1,30	1,30
<i>HIP</i> ₀₅	0,06	0,04	0,05	—

З основних елементів живлення в складі повного добрива (варіант N₁₆₀P₆₀K₁₁₀), порівняно з відповідними парними комбінаціями основних елементів живлення найбільше підвищенню вмісту калію сприяло внесення азотних і калійних добрив – на 5 %, тоді як фосфорних лише на 2 %.

Отже, вміст калію в стебелі кукурудзи досить високий (1,17–1,36 % на суху масу) і мало змінюється від удобрення – в межах 1,22–1,30 % на суху масу. Не дивлячись на те, що чорнозем опідзолений має високий вміст калію, додаткове внесення калійних добрив сприяє підвищенню його вмісту в нетоварній частині врожаю. Необхідно також зазначити, що з поліпшенням азотного живлення рослин, підвищується вміст калію в стебелі, що свідчить про ліпше засвоєння його з ґрунту.

5.2 Внесення основних елементів живлення з урожаєм і баланс їх у ґрунті

За інтенсивних технологій вирощування сільськогосподарських культур в агроценозі сільськогосподарської культури і в сівозміні зростає інтенсивність колообігу елементів живлення. Це змінює показники їх

балансу та потребує додаткового вивчення з метою оптимізацією мінерального живлення рослин і охорони довкілля від надлишкового внесення добрив.

Одним з найважливіших аспектів отримання високих врожаїв сільськогосподарських культур є забезпечення можливості засвоєння значної кількості елементів живлення. Кукурудза вимагає внесення високих доз мінеральних добрив. Це зумовлено тривалим вегетаційним періодом і здатністю рослин засвоювати поживні речовини до досягання врожаю [38].

Кількість елементів живлення, що засвоюються рослинами кукурудзи залежить від їх взаємодії з ґрунтом, добривами і навколишнім середовищем (властивості ґрунтів, агрометеорологічні умови вегетації, особливості удобрення, генетичними особливостями фізіології рослин певного гібриду тощо). Перші три чинники мають більший вплив і зазвичай згладжують відмінності гібридів поглинати поживні речовини рослинами. Поряд з цим гібриди кукурудзи суттєво реагують на зміну умов довкілля та особливості системи застосування добрив.

Для формування 10 т/га зерна і відповідної кількості стебелиння кукурудза засвоює 238 кг азоту, 95 – P_2O_5 , 168 – K_2O , 49 – Mg, 22 – S, 1,2 – Fe, 0,4 – Mn, 0,4 – Zn, 0,08 – Cu і 0,07 кг B [66].

У формуванні врожаю і якості зерна кукурудзи важливе значення має реутилізація азоту, яка становить до 50–90 % у зерно з вегетативних органів рослин [5]. Найінтенсивніше це процес проходить під час досягання зерна. Сучасні гібриди після цвітіння поглинають на 38 % більше азоту порівняно з гібридами, створеними у 1970-х роках. При цьому кількість поглиненого азоту залежить від дози його внесення: за N_{67} рослини засвоювали 20 % від загальної кількості поглиненого азоту, N_{252} – 29, а якщо азотних добрив не вносили – 33 %. На формування зерна кукурудза використовує 62 % азоту з ґрунту, а 38 % – це реутилізований азот.

Зв'язок між вмістом азоту в культурі та врожайністю встановлена для

основних зернових культур (пшениця, кукурудза, рис). У пшениці та рису, 60–95 % азоту в зерно надходить від реутилізації накопиченого азоту в біомасі кореневої системи і пагонів до цвітіння. Однак у кукурудзі ця частка становить лише 45–65 %. Такі відмінності в ємності вегетативного резервуару азоту в урожаї пов'язані з різним листовим індексом і вмістом азоту на одиницю площі листків. Пшениця та рис мають більший листовий індекс під час цвітіння порівняно з кукурудзою. Крім того, встановлено, що накопичення азоту біомасою пагонів під час цвітіння у кукурудзи майже вдвічі менше, ніж у пшениці. Це пояснює залежність формування продуктивності кукурудзи від поглинання азоту після цвітіння [8].

Урожайність зерна й стебелиння, вміст у них основних елементів живлення впливають на їх господарське винесення кукурудзою (табл. 5.7–5.9). Як видно з даних табл. 5.7, винесення азоту зерном кукурудзи залежно від гідротермічних умов вегетаційного періоду змінювалося в досить широких межах – від 66,8 до 234,4 кг/га, тоді як зміни у винесенні стебелинням були меншими – від 23,4 до 87,8 кг/га. Значно менший вміст азоту в стебелинні свідчить про його переміщення в значній кількості до зерна під час його формування.

Таблиця 5.7

**Господарське винесення азоту кукурудзою за різних видів і доз
мінеральних добрив, кг/га**

Варіант досліджу	Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Винесення зерном				
Без добрив (контроль)	66,8	135,9	91,3	98,0
N ₈₀	116,8	198,5	170,8	162,0
N ₁₆₀	129,1	217,8	189,5	178,8
P ₆₀ K ₁₁₀	70,4	150,3	98,4	106,3

N ₁₆₀ K ₁₁₀	131,2	214,6	189,4	178,4
N ₁₆₀ P ₆₀	131,6	217,6	190,8	180,0
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	120,0	206,7	177,0	167,9
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	136,1	234,4	217,4	196,0
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	129,6	230,8	213,5	191,3
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	134,6	231,5	212,4	192,8
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	131,8	232,1	214,5	192,8
Винесення стебелинням				
Без добрив (контроль)	23,4	40,6	34,3	32,8
N ₈₀	38,4	60,5	49,9	49,6
N ₁₆₀	45,0	73,4	76,1	64,8
P ₆₀ K ₁₁₀	23,6	45,2	35,5	34,8
N ₁₆₀ K ₁₁₀	45,3	75,7	76,5	65,8
N ₁₆₀ P ₆₀	46,4	77,5	75,7	66,5
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	41,4	67,1	53,7	54,1
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	49,0	87,3	81,1	72,5
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	46,0	84,3	78,4	69,5
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	45,8	85,7	81,1	70,9
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	48,7	87,8	78,6	71,7
Винесення зерном і стебелинням				
Без добрив (контроль)	90,2	176,5	125,6	130,8
N ₈₀	155,2	259,0	220,7	211,6
N ₁₆₀	174,2	291,2	265,6	243,6
P ₆₀ K ₁₁₀	94,0	195,5	133,9	141,1
N ₁₆₀ K ₁₁₀	176,5	290,3	265,9	244,2
N ₁₆₀ P ₆₀	178,0	295,1	266,5	246,5
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	161,4	273,8	230,7	222,0
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	185,2	321,7	298,5	268,5
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	175,6	315,1	291,9	260,9
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	180,4	317,2	293,4	263,7
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	180,4	319,9	293,1	264,5

Винесення азоту зерном кукурудзи залежало від погодних умов року та збільшувалося залежно від удобрення у варіанті дослідів N₁₆₀P₆₀K₁₁₀ у 2022 році на 104 %, у 2023 – на 72 і в 2024 році на 138 %, тоді як у винесенні стебелинням ці показники відповідно становили 109 %, 115 і 125 %.

З основних елементів живлення найбільший вплив на винесення азоту із зерном на тлі їх парних комбінацій має внесення азотних добрив – 84 %, тоді як фосфорних і калійних – відповідно на 10 і 9 %. Щодо винесення азоту стебелинням кукурудзи, то ці показники відповідно становили 11 %, 10 і

9 %. Зменшення дози внесення фосфорних і калійних добрив або одночасно цих обох видів добрив у два рази (варіанти дослідів $N_{160}P_{30}K_{110}$, $N_{160}P_{60}K_{55}$ і $N_{160}P_{30}K_{55}$) винесення азоту стебелінням знижувалось неістотно – на 1–4 %.

Кукурудза накопичує в надземній біомасі (зерно й стебеління) значну кількість азоту – від 90,2 до 319,9 кг/га залежно від погодних умов року та особливостей удобрення (див. табл. 5.7). Найбільше на зміну цього показника впливає удобрення. Так, у середньому за три роки проведення досліджень на ділянках з внесенням повного мінерального добрива (варіант $N_{160}P_{60}K_{110}$) порівняно з неудобреними господарське винесення азоту підвищувалося в два рази. Найбільше на винесення азоту надземною біомасою кукурудзи впливала азотна складова повного добрива, потім фосфорна й калійна, відповідно підвищуючи його на тлі парних їх комбінацій на 81 %, 10 і 9 %. Зі зниженням дози повного мінерального добрива до $N_{80}P_{30}K_{55}$ господарське винесення азоту зменшувалося в 1,2 рази.

Основне значення в господарському винесенні азоту зерном і стебелінням кукурудзи має азотна складова повного мінерального добрива, про що свідчить можливість зниження дози фосфорних і калійних добрив у варіантах дослідів $N_{160}P_{30}K_{110}$, $N_{160}P_{60}K_{55}$ і $N_{160}P_{30}K_{55}$, де винесення азоту знижувалося несуттєво – на 1–3 %.

Таблиця 5.8

Господарське винесення фосфору (P_2O_5) кукурудзою за різних видів і доз мінеральних добрив, кг/га

Варіант дослідів	Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Винесення зерном				
Без добрив (контроль)	34,5	42,8	38,1	38,5
N ₈₀	47,5	52,9	51,8	50,8
N ₁₆₀	52,7	58,3	56,1	55,7
P ₆₀ K ₁₁₀	37,5	51,7	44,0	44,4
N ₁₆₀ K ₁₁₀	52,7	57,9	55,7	55,4
N ₁₆₀ P ₆₀	54,0	64,0	59,9	59,3
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	49,8	56,7	54,2	53,6
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	55,5	66,6	61,9	61,3

N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	52,7	63,7	60,3	58,9
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	54,9	65,7	59,4	60,0
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	52,9	64,1	59,9	59,0
Винесення стебелинням				
Без добрив (контроль)	9,8	12,8	9,0	10,5
N ₈₀	13,9	17,7	15,8	15,8
N ₁₆₀	16,6	21,7	24,8	21,0
P ₆₀ K ₁₁₀	12,6	19,4	15,0	15,6
N ₁₆₀ K ₁₁₀	16,7	20,6	22,6	20,0
N ₁₆₀ P ₆₀	20,2	27,6	29,9	25,9
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	15,7	20,3	17,9	18,0
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	23,3	34,6	32,4	30,1
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	21,2	30,5	28,5	26,7
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	22,9	32,1	32,4	29,2
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	20,7	30,4	30,4	27,2
Винесення зерном і стебелинням				
Без добрив (контроль)	44,3	55,6	47,1	49,0
N ₈₀	61,4	70,6	67,7	66,6
N ₁₆₀	69,3	79,9	80,9	76,7
P ₆₀ K ₁₁₀	50,1	71,0	59,0	60,0
N ₁₆₀ K ₁₁₀	69,4	78,5	78,3	75,4
N ₁₆₀ P ₆₀	74,2	91,5	89,8	85,2
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	65,5	77,0	72,1	71,5
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	78,8	101,1	94,4	91,4
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	73,9	94,2	88,8	85,6
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	77,8	97,9	91,8	89,2
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	73,6	94,5	90,2	86,1

З даних табл. 5.8 видно, що винесення фосфору врожаєм кукурудзи було значно меншим, ніж азоту. При цьому із зерном його виноситься більше, ніж у два рази порівняно із стебелинням – відповідно 34,5–66,6 кг/га і 9,8–34,6 кг/га залежно від погодних умов і особливостей удобрення.

Внесення фосфорних добрив у дозі 60 кг/га д. р. на тлі азотних і калійних (N₁₆₀K₁₁₀) сприяло підвищенню винесення фосфору зерном і стебелинням відповідно на 11 % і 5 %, а за внесення їх у дозі 30 кг/га д. р. – лише на 6 і 4 %.

Отже, з поліпшенням фосфорного живлення рослин кукурудзи винесення фосфору зерном збільшується більше, ніж стебелинням

незалежно від доз внесення фосфорних добрив.

Господарське винесення фосфору зерном і стебелинням кукурудзи змінювалося від 44,3 до 101,1 кг/га і більше залежало від удобрення, ніж від погодних умов. Про це свідчать зміни показників за три роки проведення досліджень у варіанті досліду з повним добривом ($N_{160}P_{60}K_{110}$) – 78,8–101,1 кг/га (у середньому 91,4 кг/га) порівняно з контрольним варіантом – 49,0 кг/га.

З отриманих даних можна зробити висновок, що лише меншу частину фосфору (9,5–38,5 кг/га), використаного на формування врожаю можна повернути у ґрунт зі стебелинням.

Порівняно з азотом і фосфором, кукурудза виносить більше калію зі стебелинням, ніж із зерном (табл. 5.9). Так, винесення калію зерном було 29,4–60,8 кг/га і 96,0–223,7 кг/га – стебелинням залежно від гідротермічних умов року та особливостей удобрення.

Таблиця 5.9

Господарське винесення калію (K_2O) кукурудзою за різних видів і доз мінеральних добрив, кг/га

Варіант досліджу	Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Винесення зерном				
Без добрив (контроль)	29,4	37,5	27,5	31,5
N ₈₀	40,6	47,6	36,5	41,6
N ₁₆₀	45,2	51,3	39,9	45,5
P ₆₀ K ₁₁₀	34,4	44,6	30,9	36,7
N ₁₆₀ K ₁₁₀	49,5	56,5	42,1	49,3
N ₁₆₀ P ₆₀	45,3	51,2	39,9	45,5
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	43,7	50,0	39,7	44,5
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	52,3	60,8	44,2	52,4

N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	49,5	58,1	41,4	49,7
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	49,5	57,2	43,0	49,9
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	51,8	58,4	42,4	50,9
Винесення стебелинням				
Без добрив (контроль)	96,0	135,8	109,3	113,7
N ₈₀	135,4	174,2	147,4	152,3
N ₁₆₀	151,7	198,5	214,0	188,1
P ₆₀ K ₁₁₀	102,2	155,0	116,9	124,7
N ₁₆₀ K ₁₁₀	158,7	208,1	222,6	196,5
N ₁₆₀ P ₆₀	153,4	203,2	214,7	190,4
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	143,4	185,8	157,3	162,1
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	166,7	223,7	234,3	208,2
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	158,0	217,0	228,0	201,0
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	162,5	216,1	232,5	203,7
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	166,7	220,3	232,3	206,4
Винесення зерном і стебелинням				
Без добрив (контроль)	125,5	173,3	136,7	145,2
N ₈₀	176,0	221,8	183,9	193,9
N ₁₆₀	196,9	249,8	254,0	233,5
P ₆₀ K ₁₁₀	136,6	199,7	147,8	161,4
N ₁₆₀ K ₁₁₀	208,1	264,6	264,7	245,8
	198,7	254,4	254,6	235,9
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	187,1	235,7	197,0	206,6
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	219,0	284,5	278,5	260,7
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	207,5	275,0	269,4	250,6
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	212,1	273,3	275,4	253,6
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	218,6	278,7	274,7	257,3

Види мінеральних добрив і дози їх внесення по-різному впливали на винесення калію різними частинами урожаю кукурудзи. Так, внесення лише азотних добрив у дозі 80 і 160 кг/га д. р. сприяло підвищенню винесення калію на 32–44 % зерном і на 34–65 % – стебелинням. Фосфорні добрива, внесені в дозі 60 кг/га д. р., на азотно-калійному тлі (N₁₆₀K₁₁₀) сприяли підвищенню винесення калію зерном і стебелинням на 6 %. Найбільше винесення калію збільшує внесення калійних добрив на тлі N₁₆₀P₆₀ – на 15 % і 9 % відповідно зерном і стебелинням. За зниження частки калійних добрив у складі повного мінерального добрива (N₁₆₀P₆₀K₁₁₀) вдвічі – до 55 кг/га д. р., зменшувалося винесення калію зерном і стебелинням відповідно на 5 % і

2 %.

Показник господарського винесення калію зерном і стебелінням – 125,5–284,5 кг/га свідчить про важливе значення цього елементу живлення у формуванні врожаю кукурудзи. При цьому винесення калію у варіанті досліді з повним удобренням залежно від погодних умов становило 219,0–284,5 кг/га, тоді як порівняно з ділянками без добрив відрізнялося значно більше – у середньому за три роки проведення досліджень 145,2 кг/га проти 260,7 кг/га. Зниження дози калійних добрив у складі повного добрива ($N_{160}P_{60}K_{110}$) до 55 кг/га д. р. зменшувало показник господарського винесення калію на 3 %.

В Україні ще не встановлені нормативні показники винесення елементів живлення на одиницю продукції. Тому вчені пропонують користуватися нормативними значеннями, що були одержані науковими установами у певному регіоні, де вирощується культура. Зокрема, наводяться такі дані винесення кукурудзою з ґрунту на створення 1 т зерна з відповідною кількістю стебеління в середньому 24–32 кг азоту, 10–14 – P_2O_5 і 25–35 кг K_2O . За іншими даними необхідно 15–30 кг азоту, 10–14 кг фосфору, 25–35 кг калію, по 6–10 кг магнію та кальцію, 3–4 кг сірки, 11 г бору, 14 г міді, 110 г мангану, 0,9 г молібдену, 85 г цинку, 200 г заліза. Сформована одна тонна з відповідною масою листків і стебел кукурудза засвоює 16–35 кг азоту, 7–13 – P_2O_5 і 20–35 кг K_2O .

Дослідження показали, що найбільше винесення поживних речовин із ґрунту для формування врожайності зерна та відповідної кількості стебеління у середньостиглих гібридів кукурудзи, а найменше – у середньоранніх. Поліпшення живлення рослин збільшує цей показник у 1,5 разів. При цьому найбільше збільшується використання азоту – на 44 %, калію – на 30–31 і найменше фосфору – на 25–26 %. Тому серед усіх складових технології її вирощування система удобрення є найдієвішим чинником, що забезпечує високу окупність вкладених ресурсів.

Вдосконаленням системи удобрення кукурудзи азотом можна

підвищити ефективність використання азоту з добрив і зменшити навантаження на довкілля. Реутилізація азоту є важливим чинником підвищення ефективності його використання з внесених добрив. Ефективність азотних добрив також залежить від здатності рослин поглинати азот мінеральних сполук з ґрунту, що утворюється після перетворення органічних азотовмісних сполук мікробіотою. На забезпеченість рослин азотом впливають хвороби, погодні умови та інші чинники. Критичний період потреби кукурудзи у посиленому азотному живленні настає у фазу цвітіння. Дозу внесення азоту мінеральних добрив встановлюють орієнтовно з розрахунку 15 кг для родючих ґрунтів і 20 кг на 1 т зерна для бідних. За даними для застарілих гібридів кукурудзи на формування однієї тонни зерна потрібно було вносити 15–18 кг азоту добрив на родючих ґрунтах і 12–15 кг – на бідних.

Показники винесення основних елементів живлення одиницею продукції (зерном і стебелинням), а також відносне винесення їх зерном і відповідною кількістю стебелиння кукурудзи, як показали проведені дослідження, змінюються в менших межах порівняно з господарським їх винесенням (табл. 5.10). Це можна пояснити генетичним контролем цих показників.

Таблиця 5.10

**Відносне винесення азоту кукурудзою за різних видів і доз
мінеральних добрив, кг/т**

Варіант досліджу	Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Винесення зерном				
Без добрив (контроль)	9,3	12,7	10,3	10,8
N ₈₀	11,8	15,0	14,5	13,8
N ₁₆₀	12,0	15,7	15,2	14,3
P ₆₀ K ₁₁₀	9,2	12,8	10,5	10,8
N ₁₆₀ K ₁₁₀	12,2	15,2	15,3	14,2
N ₁₆₀ P ₆₀	12,2	15,3	15,3	14,3
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	11,8	15,3	14,7	13,9

N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	12,5	16,2	17,2	15,3
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	12,3	16,3	17,0	15,2
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	12,5	16,2	16,8	15,2
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	12,2	16,3	17,2	15,2
Винесення стебелинням				
Без добрив (контроль)	3,1	3,5	3,8	3,5
N ₈₀	3,6	4,1	4,1	3,9
N ₁₆₀	3,8	4,4	4,3	4,2
P ₆₀ K ₁₁₀	3,0	3,5	3,8	3,4
N ₁₆₀ K ₁₁₀	3,8	4,4	4,4	4,2
N ₁₆₀ P ₆₀	3,9	4,5	4,3	4,2
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	3,7	4,3	4,2	4,1
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	4,0	4,8	4,5	4,4
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	3,9	4,7	4,4	4,3
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	3,8	4,8	4,5	4,4
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	4,0	4,9	4,4	4,4
Відносне винесення зерном і відповідною кількістю стебелиння				
Без добрив (контроль)	12,6	16,5	14,2	14,4
N ₈₀	15,7	19,6	18,7	18,0
N ₁₆₀	16,2	21,0	21,3	19,5
P ₆₀ K ₁₁₀	12,3	16,7	14,3	14,4
N ₁₆₀ K ₁₁₀	16,4	20,6	21,5	19,5
N ₁₆₀ P ₆₀	16,5	20,7	21,4	19,5
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	15,9	20,3	19,2	18,5
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	17,0	22,2	23,6	20,9
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	16,7	22,3	23,2	20,7
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	16,8	22,2	23,2	20,7
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	16,7	22,5	23,5	20,9

Винесення азоту одиницею продукції урожаю кукурудзи залежало як від погодних умов, так і від удобрення. У середньому за три роки проведення досліджень винесення азоту з 1 т зерна було 10,8–15,3 кг і збільшувалося з поліпшенням мінерального живлення рослин, у першу чергу азотного.

З 1 т стебелиння кукурудза виносить з ґрунту незначну кількість азоту – 3,5–4,4 кг залежно від удобрення. Показник відносного винесення азоту зерном і відповідною кількістю соломи у середньому становив 14,4–20,9 кг/т і в основному залежав від рівня азотного живлення, створеного внесенням різних доз азотних добрив.

Порівняно з азотом, на одиницю продукції кукурудза виносить значно менше фосфору – 4,4–4,9 кг/т зерна і 1,1–1,9 кг/т стебелиння (табл. 5.11). Вплив погодних умов на зміну цих показників був незначним. Це ж стосується й показника відносного винесення фосфору зерном і відповідною кількістю стебелиння, який залежно від удобрення був у межах 5,6–7,2 кг/га та збільшувався з поліпшенням мінерального живлення рослин, особливо фосфорного.

Винесення калію з 1 т зерна кукурудзи незначне – 3,6–4,2 кг, тоді як стебелинням – 12,2–13,0 кг/т залежно від удобрення (табл. 5.12). Ці показники змінювалися неістотно залежно від погодних умов.

Таблиця 5.11

Відносне винесення фосфору (P_2O_5) кукурудзою за різних видів і доз мінеральних добрив, кг/т

Варіант досліду	Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Винесення зерном				
Без добрив (контроль)	4,8	4,0	4,3	4,4
N ₈₀	4,8	4,0	4,4	4,4
N ₁₆₀	4,9	4,2	4,5	4,5
P ₆₀ K ₁₁₀	4,9	4,4	4,7	4,7
N ₁₆₀ K ₁₁₀	4,9	4,1	4,5	4,5
N ₁₆₀ P ₆₀	5,0	4,5	4,8	4,8
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	4,9	4,2	4,5	4,5

N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	5,1	4,6	4,9	4,9
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	5,0	4,5	4,8	4,8
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	5,1	4,6	4,7	4,8
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	4,9	4,5	4,8	4,7
Винесення стебелинням				
Без добрив (контроль)	1,3	1,1	1,0	1,1
N ₈₀	1,3	1,2	1,3	1,3
N ₁₆₀	1,4	1,3	1,4	1,4
P ₆₀ K ₁₁₀	1,6	1,5	1,6	1,6
N ₁₆₀ K ₁₁₀	1,4	1,2	1,3	1,3
N ₁₆₀ P ₆₀	1,7	1,6	1,7	1,7
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	1,4	1,3	1,4	1,4
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	1,9	1,9	1,8	1,9
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	1,8	1,7	1,6	1,7
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	1,9	1,8	1,8	1,8
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	1,7	1,7	1,7	1,7
Відносне винесення зерном і відповідною кількістю стебелиння				
Без добрив (контроль)	6,2	5,2	5,3	5,6
N ₈₀	6,2	5,3	5,7	5,8
N ₁₆₀	6,4	5,8	6,5	6,2
P ₆₀ K ₁₁₀	6,5	6,1	6,3	6,3
N ₁₆₀ K ₁₁₀	6,5	5,6	6,3	6,1
N ₁₆₀ P ₆₀	6,9	6,4	7,2	6,8
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	6,4	5,7	6,0	6,0
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	7,2	7,0	7,5	7,2
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	7,0	6,7	7,1	6,9
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	7,2	6,9	7,3	7,1
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	6,8	6,6	7,2	6,9

Таблиця 5.12

**Відносне винесення калію (K₂O) кукурудзою за різних видів і доз
мінеральних добрив, кг/т**

Варіант досліджу	Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Винесення зерном				
Без добрив (контроль)	4,1	3,5	3,1	3,6
N ₈₀	4,1	3,6	3,1	3,6
N ₁₆₀	4,2	3,7	3,2	3,7
P ₆₀ K ₁₁₀	4,5	3,8	3,3	3,9
N ₁₆₀ K ₁₁₀	4,6	4,0	3,4	4,0
N ₁₆₀ P ₆₀	4,2	3,6	3,2	3,7

N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	4,3	3,7	3,3	3,8
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	4,8	4,2	3,5	4,2
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	4,7	4,1	3,3	4,0
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	4,6	4,0	3,4	4,0
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	4,8	4,1	3,4	4,1
Винесення стебелинням				
Без добрив (контроль)	12,7	11,7	12,1	12,2
N ₈₀	12,7	11,8	12,1	12,2
N ₁₆₀	12,8	11,9	12,1	12,3
P ₆₀ K ₁₁₀	13,0	12,0	12,5	12,5
N ₁₆₀ K ₁₁₀	13,3	12,1	12,8	12,7
N ₁₆₀ P ₆₀	12,9	11,8	12,2	12,3
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	12,8	11,9	12,3	12,3
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	13,6	12,3	13,0	13,0
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	13,4	12,1	12,8	12,8
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	13,5	12,1	12,9	12,8
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	13,7	12,3	13,0	13,0
Відносне винесення зерном і відповідною кількістю стебелиння				
Без добрив (контроль)	18,1	16,6	16,6	17,1
N ₈₀	18,5	17,2	16,9	17,5
N ₁₆₀	19,0	18,5	21,7	19,7
P ₆₀ K ₁₁₀	18,3	17,6	17,2	17,7
N ₁₆₀ K ₁₁₀	19,7	18,9	22,4	20,3
N ₁₆₀ P ₆₀	19,2	18,8	22,0	20,0
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	19,0	18,0	17,5	18,2
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	20,5	20,1	23,5	21,4
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	20,0	19,9	23,0	21,0
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	20,2	19,7	23,1	21,0
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	20,4	20,0	23,4	21,3

Показник відносного винесення калію зерном і відповідною кількістю стебелиння в проведеному досліді був у межах 16,6–23,5 кг/т, а залежно від системи застосування добрив – 17,1–21,4 кг/т й підвищувався завдяки поліпшенню в першу чергу азотного живлення рослин кукурудзи.

У різних природних зонах України потреба кукурудзи в основних елементах живлення неоднакова та істотно залежить від ґрунтових умов, технології вирощування та низки інших чинників.

З впровадженням у виробництво високоврожайних сортів і гібридів сільськогосподарських культур та новітніх технологій їх вирощування,

недостатнього внесення мінеральних добрив, який нині складається, зміною погодно-кліматичних умов у бік посушливості або нерівномірного та нестабільного зволоження впродовж вегетаційного періоду загострюється проблема дисбалансу в мінеральному живленні рослин. Збалансоване удобрення забезпечується внесенням відповідної кількості в певному поєднанні основних елементів живлення, а також макро- й мікроелементів залежно від вимог сільськогосподарських культур і показників родючості ґрунту.

За вирощування кукурудзи важливим є не тільки кількість внесених поживних речовин, але і співвідношення між елементами живлення. При цьому макро- та мікроелементи можуть набувати нових функцій. Це визначається їх фізичними, хімічними і біологічними властивостями. Тому вивчення можливих взаємодій між окремими елементами живлення відкриває широкі можливості для їх ефективного поглинання кореневою системою та наступним транспортуванням у надземну частину рослин.

Встановлено, що за врожайності 5,0 т/га співвідношення $N : P_2O_5 : K_2O$ у зерні кукурудзи становить 1,0 : 0,4 : 0,7, а за збільшення врожайності до 8,0 т/га зростає до 1,0 : 0,34 : 1,2.

Частка основних елементів живлення в структурі господарського їх винесення з урожаєм, як встановлено проведеними дослідженнями, залежала як від гідротермічних умов вегетаційного періоду, так і від системи удобрення кукурудзи (табл. 5.13–5.15).

Таблиця 5.13

Частка азоту від суми господарського винесення основних елементів живлення ($N + P_2O_5 + K_2O$) кукурудзою залежно від видів і доз мінеральних добрив, %

Варіант досліджу	Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Господарське винесення зерном				
Без добрив (контроль)	51,1	62,9	58,2	57,4
N ₈₀	57,0	66,4	65,9	63,1
N ₁₆₀	56,9	66,5	66,4	63,3
P ₆₀ K ₁₁₀	49,5	60,9	56,8	55,7

N ₁₆₀ K ₁₁₀	56,2	65,2	65,9	62,4
N ₁₆₀ P ₆₀	57,0	65,4	65,7	62,7
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	56,2	66,0	65,3	62,5
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	55,8	64,8	67,2	62,6
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	55,9	65,5	67,7	63,0
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	56,3	65,3	67,5	63,0
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	55,7	65,5	67,7	63,0
Господарське винесення стебелинням				
Без добрив (контроль)	18,1	21,5	22,5	20,7
N ₈₀	20,5	24,0	23,4	22,6
N ₁₆₀	21,1	25,0	24,2	23,4
P ₆₀ K ₁₁₀	17,1	20,6	21,2	19,6
N ₁₆₀ K ₁₁₀	20,5	24,9	23,8	23,1
N ₁₆₀ P ₆₀	21,1	25,1	23,6	23,3
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	20,6	24,6	23,5	22,9
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	20,5	25,3	23,3	23,0
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	20,4	25,4	23,4	23,1
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	19,8	25,7	23,4	23,0
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	20,6	25,9	23,0	23,2
Господарське винесення зерном і стебелинням				
Без добрив (контроль)	34,7	43,5	40,6	39,6
N ₈₀	39,5	47,0	46,7	44,4
N ₁₆₀	39,6	46,9	44,2	43,6
P ₆₀ K ₁₁₀	33,5	41,9	39,3	38,2
N ₁₆₀ K ₁₁₀	38,9	45,8	43,7	42,8
N ₁₆₀ P ₆₀	39,5	46,0	43,6	43,0
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	39,0	46,7	46,2	44,0
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	38,3	45,5	44,5	42,8
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	38,4	46,0	44,9	43,1
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	38,4	46,1	44,4	43,0
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	38,2	46,2	44,5	43,0

Так, частка азоту, винесеного із зерном, у господарському винесенні основних елементів живлення залежно від погодних умов змінювалася від 51,1 до 62,9 % на ділянках без добрив і від 55,8 до 67,2 % за внесення повного добрива (N₁₆₀P₆₀K₁₁₀) (див. табл. 5.15). Залежно від удобрення цей показник змінювався в межах 57,4–63,0 %. Аналогічні закономірності спостерігались щодо зміни частки азоту від господарського винесення основних елементів живлення стебелинням кукурудзи, але з меншими показниками – 20,7–23,1 % залежно від варіанту дослідів.

Частка азоту в господарському винесенні основних елементів живлення в проведеному досліді змінювалась від 34,7 до 46,7 %, а в середньому за три роки залежно від удобрення – від 39,6 до 44,0 %.

З основних елементів живлення в урожаї кукурудзи найменшу частку складав фосфор – у середньому за три роки 19,8–24,3 % у зерні та 6,8–9,7 % у стебелінні залежно від удобрення (табл. 5.14). У господарському їх винесенні зерном і стебелінням частка фосфору в середньому становила 14,0–15,3 % залежно від системи удобрення.

Частка калію в господарському винесенні основних елементів живлення з урожаєм зерна займає проміжне положення між азотом і фосфором і становила в проведеному досліді 16,2–20,0 % залежно від удобрення (табл. 5.15). При цьому найбільше калію зосереджувалося в стебелінні – 67,3–71,4 % і мало залежало від системи удобрення. Такі ж закономірності розподілення калію були і в господарському винесенні основних елементів живлення в зерні і стебелінні кукурудзи.

Таблиця 5.14

Частка фосфору (P_2O_5) від суми господарського винесення основних елементів живлення ($N + P_2O_5 + K_2O$) кукурудзою залежно від видів і доз мінеральних добрив, %

Варіант дослідіу	Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Господарське винесення зерном				
Без добрив (контроль)	26,4	19,8	24,3	23,5
N ₈₀	23,2	17,7	20,0	20,3
N ₁₆₀	23,2	17,8	19,6	20,2
P ₆₀ K ₁₁₀	26,4	21,0	25,4	24,3
N ₁₆₀ K ₁₁₀	22,6	17,6	19,4	19,9

N ₁₆₀ P ₆₀	23,4	19,2	20,6	21,1
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	23,3	18,1	20,0	20,5
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	22,8	18,4	19,1	20,1
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	22,7	18,1	19,1	20,0
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	23,0	18,5	18,9	20,1
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	22,4	18,1	18,9	19,8
Господарське винесення стебелинням				
Без добрив (контроль)	7,6	6,8	5,9	6,8
N ₈₀	7,4	7,0	7,4	7,3
N ₁₆₀	7,8	7,4	7,9	7,7
P ₆₀ K ₁₁₀	9,1	8,8	9,0	9,0
N ₁₆₀ K ₁₁₀	7,6	6,8	7,0	7,1
N ₁₆₀ P ₆₀	9,2	9,0	9,3	9,2
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	7,8	7,4	7,8	7,7
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	9,7	10,0	9,3	9,7
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	9,4	9,2	8,5	9,0
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	9,9	9,6	9,4	9,6
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	8,8	9,0	8,9	8,9
Господарське винесення зерном і стебелинням				
Без добрив (контроль)	17,0	13,7	15,2	15,3
N ₈₀	15,6	12,8	14,3	14,2
N ₁₆₀	15,7	12,9	13,5	14,0
P ₆₀ K ₁₁₀	17,8	15,2	17,3	16,8
N ₁₆₀ K ₁₁₀	15,3	12,4	12,9	13,5
N ₁₆₀ P ₆₀	16,5	14,3	14,7	15,2
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	15,8	13,1	14,4	14,4
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	16,3	14,3	14,1	14,9
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	16,2	13,8	13,7	14,6
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	16,5	14,2	13,9	14,9
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	15,6	13,6	13,7	14,3

Таблиця 5.15

Частка калію (K₂O) від суми господарського винесення основних елементів живлення (N + P₂O₅ + K₂O) кукурудзою залежно від видів і доз мінеральних добрив, %

Варіант досліджу	Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Господарське винесення зерном				
Без добрив (контроль)	22,5	17,3	17,5	19,1
N ₈₀	19,8	15,9	14,1	16,6
N ₁₆₀	19,9	15,7	14,0	16,5
P ₆₀ K ₁₁₀	24,2	18,1	17,8	20,0

N ₁₆₀ K ₁₁₀	21,2	17,2	14,7	17,7
N ₁₆₀ P ₆₀	19,6	15,4	13,7	16,2
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	20,5	16,0	14,7	17,1
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	21,4	16,8	13,7	17,3
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	21,4	16,5	13,1	17,0
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	20,7	16,1	13,7	16,8
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	21,9	16,5	13,4	17,3
Господарське винесення стебелинням				
Без добрив (контроль)	74,3	71,8	71,6	72,6
N ₈₀	72,1	69,0	69,2	70,1
N ₁₆₀	71,1	67,6	68,0	68,9
P ₆₀ K ₁₁₀	73,8	70,6	69,8	71,4
N ₁₆₀ K ₁₁₀	71,9	68,4	69,2	69,8
N ₁₆₀ P ₆₀	69,7	65,9	67,0	67,5
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	71,5	68,0	68,7	69,4
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	69,7	64,7	67,4	67,3
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	70,2	65,4	68,1	67,9
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	70,3	64,7	67,2	67,4
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	70,6	65,1	68,1	67,9
Господарське винесення зерном і стебелинням				
Без добрив (контроль)	48,3	42,7	44,2	45,1
N ₈₀	44,8	40,2	38,9	41,3
N ₁₆₀	44,7	40,2	42,3	42,4
P ₆₀ K ₁₁₀	48,7	42,8	43,4	45,0
N ₁₆₀ K ₁₁₀	45,8	41,8	43,5	43,7
N ₁₆₀ P ₆₀	44,1	39,7	41,7	41,8
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	45,2	40,2	39,4	41,6
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	45,3	40,2	41,5	42,3
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	45,4	40,2	41,4	42,3
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	45,1	39,7	41,7	42,2
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	46,3	40,2	41,7	42,7

У зв'язку з високою вартістю мінеральних добрив важливо мінімізувати їх непродуктивні втрати і досягти раціонального використання поживних речовин. Коефіцієнт використання рослинами поживних речовин з ґрунту є невисоким, тому добрива залишаються одним із найвпливовіших чинників підвищення продуктивності польових культур. Про значення удобрення в формуванні високих урожаїв кукурудзи свідчать результати досліджень, проведених у різних ґрунтово-кліматичних умовах.

Встановлено, що на ефективність засвоєння азоту кукурудзою з добрив найбільше впливають доза його внесення, уміст азоту мінеральних сполук у ґрунті та врожайність зерна. Тому для підвищення коефіцієнта використання азоту з добрив доза його внесення повинна забезпечувати формування запланованого рівня врожайності з мінімальною залишковою кількістю у ґрунті, що запобігатиме непродуктивним втратам.

За внесення мінеральних добрив під кукурудзу важливо знати частку елементів живлення від внесеної кількості, яку використовують рослини. Визначення цих показників різницею методом у порівнянні з парними комбінаціями основних елементів живлення або з їх винесенням на неудобрених ділянках дослідів є умовним, оскільки не враховується їх використання на формування кореневої системи рослин, а також додаткове утворення «екстра-азоту» за внесення азотних добрив. Проте розраховані коефіцієнти використання елементів живлення рослинами дозволяють порівняти варіанти дослідів між собою.

Як видно з даних табл. 5.16, найбільше рослини кукурудзи використовували з мінеральних добрив азот, тоді як коефіцієнт засвоєння з них фосфору були у кілька разів нижчими.

Таблиця 5.16

**Коефіцієнти використання основних елементів живлення
кукурудзою за різних видів і доз мінеральних добрив, %**

Варіант дослідів	Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
	2022	2023	2024	
Азоту				
N ₈₀	81,3	93,1	90,2	88,2
N ₁₆₀	52,5	71,7	87,5	70,6
N ₁₆₀ K ₁₁₀	51,6	59,3	82,5	64,5
N ₁₆₀ P ₆₀	52,5	62,3	82,9	65,9

N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	84,3	94,2	93,7	90,7
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	57,0	78,9	78,9	71,6
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	51,0	74,8	75,8	67,2
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	54,0	76,1	75,7	68,6
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	54,0	77,8	75,5	69,1
Фосфору				
P ₆₀ K ₁₁₀	10,0	25,7	19,8	18,5
N ₁₆₀ P ₆₀	21,3	19,3	14,8	18,5
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	13,7	20,0	14,7	16,1
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	15,8	50,2	22,5	29,5
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	15,3	47,7	26,3	29,8
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	14,2	30,0	18,2	20,8
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	14,3	48,7	31,0	31,3
Калію				
P ₆₀ K ₁₁₀	10,1	24,0	10,1	14,7
N ₁₆₀ K ₁₁₀	10,5	13,5	9,7	11,2
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	20,2	25,3	23,8	23,1
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	20,1	31,5	22,3	24,6
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	19,3	45,8	14,0	26,4
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	27,6	42,7	38,9	36,4
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	19,7	26,3	18,8	21,6

Примітка. За відсутності в схемі досліду варіантів з відповідними парними комбінаціями основних елементів живлення розрахунків їх використання з мінеральних добрив проводили у порівнянні з їх винесенням у варіанті досліду Без добрив (контроль).

Високий коефіцієнт використання азоту з добрив свідчить про велике значення цього елемента живлення у формуванні продуктивності кукурудзи. За роки проведення досліджень це показник був у межах 51,0–94,2 % залежно від особливостей удобрення та погодних умов вегетаційного періоду.

Внесення азотних добрив на тлі фосфорних і калійних сприяло підвищенню коефіцієнта використання з них азоту кукурудзою в середньому за роки проведення досліджень на 1,0–2,5 %. Зниження повної дози мінеральних добрив удвічі (варіант N₈₀P₃₀K₅₅) сприяло підвищенню цього показника на 19,1 %.

У варіантах досліду, що передбачали зменшення дози внесення

фосфору й калію в складі повного мінерального добрива – $N_{160}P_{30}K_{55}$, $N_{160}P_{60}K_{55}$ і $N_{160}P_{30}K_{110}$ коефіцієнт використання азоту з добрив кукурудзою знижувався на 2,5–4,4 % за показника з повною їх дозою 71,6 % (варіант $N_{160}P_{60}K_{110}$).

Коефіцієнт використання фосфору залежно від дози фосфорних добрив і їх поєднання з азотними і калійними у середньому за роки проведення досліджень був 16,1–31,3 %, а залежно від гідротермічних умов вегетаційного періоду та особливостей удобрення змінювався в межах 10,0–50,2 %.

Підвищення дози внесення азотних добрив з 80 до 160 кг/га д. р. на фосфорно-калійному тлі ($P_{30}K_{55}$) сприяло підвищенню коефіцієнта використання фосфору з добрив з 16,1 до 29,8 % або на 85 %. Найвищий коефіцієнт використання фосфору (31,3 %) був у варіанті досліді $N_{160}P_{30}K_{110}$, що на 1,8 % більше порівняно з варіантом досліді $N_{160}P_{30}K_{55}$. Це свідчить про підвищення використання фосфору з добрив з поліпшенням калійного живлення кукурудзи.

Низький коефіцієнт використання калію з добрив перш за все можна пояснити значним задоволенням рослин калієм з ґрунтових запасів. Залежно від погодних умов і особливостей удобрення цей показник змінювався від 10,1 до 45,8 % і був найвищим (36,4 %) у середньому за три роки проведення досліджень у варіанті досліді $N_{160}P_{60}K_{55}$. При цьому необхідно також зазначити, що азотна складова повного добрива, якщо порівнювати з варіантом досліді $P_{60}K_{110}$, сприяла підвищенню коефіцієнта використання калію з добрив на 9,9 %, а фосфорна, на тлі азотних і калійних добрив, – на 13,4 %.

Залежно від частини урожаю кукурудзи, основні елементи живлення з ґрунту видаляються в різному співвідношенні (табл. 5.17). Якщо з поля видаляється лише зерно, то на одиницю азоту виноситься 0,27–0,52 одиниці фосфору та 0,19–0,44 одиниці калію залежно від гідротермічних умов вегетаційного періоду та удобрення. На удобрених ділянках азотними

добривами рослини економніше використовують фосфор і калій. Так, якщо, наприклад в урожаї зерна в 2024 році на контролі співвідношення $N : P_2O_5 : K_2O$ було $1 : 0,42 : 0,30$, то за внесення повного мінерального добрива у дозі $N_{160}P_{60}K_{110}$ складало $1 : 0,28 : 0,20$.

Якщо з поля поряд із зерном кукурудзи видаляється і врожай стебеління, то на одиницю азоту винесення фосфору збільшується лише частково, тоді як значно зростає винесення калію до показника $0,83-1,39$ залежно від погодних умов та особливостей удобрення. При цьому як і в зерні, змінюється співвідношення між основними елементами живлення в сторону більш економного використання фосфору й калію за внесення повного добрива.

Отже, співвідношення $N : P_2O_5 : K_2O$ в урожаї кукурудзи змінюється залежно від удобрення, а також частини урожаю, що забирається з поля. Його потрібно враховувати під час розроблення або уточнення системи удобрення культури чи сівозміни у цілому.

Як видно з даних табл. 5.18, баланс елементів живлення в ґрунті за вирощування кукурудзи формувався залежно від особливостей її удобрення змінювався в широких межах. Так, баланс азоту за всіх систем удобрення складався від'ємним ($-83,6...-142,0$ кг/га), але за умови залишення стебеління на полі дещо поліпшувався ($-18,4...-98,0$ кг/га).

Таблиця 5.17

Відношення $N : P_2O_5 : K_2O$ у господарському їх винесенні врожаєм кукурудзи за різних видів і доз мінеральних добрив, 2022–2024 рр.

Варіант досліджу	Відношення $N : P_2O_5 : K_2O$ у господарському винесенні	
	зерном	зерном і стебелінням
2022 р.		
Без добрив (контроль)	$1 : 0,52 : 0,44$	$1 : 0,49 : 1,39$
N_{80}	$1 : 0,41 : 0,35$	$1 : 0,40 : 1,13$
N_{160}	$1 : 0,41 : 0,35$	$1 : 0,40 : 1,13$

P ₆₀ K ₁₁₀	1 : 0,53 : 0,49	1 : 0,53 : 1,45
N ₁₆₀ K ₁₁₀	1 : 0,40 : 0,38	1 : 0,39 : 1,18
N ₁₆₀ P ₆₀	1 : 0,41 : 0,34	1 : 0,42 : 1,12
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	1 : 0,42 : 0,36	1 : 0,41 : 1,16
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	1 : 0,41 : 0,38	1 : 0,43 : 1,18
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	1 : 0,41 : 0,38	1 : 0,42 : 1,18
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	1 : 0,41 : 0,37	1 : 0,43 : 1,18
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	1 : 0,40 : 0,39	1 : 0,41 : 1,21
2023 р.		
Без добрив (контроль)	1 : 0,31 : 0,28	1 : 0,32 : 0,98
N ₈₀	1 : 0,27 : 0,24	1 : 0,27 : 0,86
N ₁₆₀	1 : 0,27 : 0,24	1 : 0,27 : 0,86
P ₆₀ K ₁₁₀	1 : 0,34 : 0,30	1 : 0,36 : 1,02
N ₁₆₀ K ₁₁₀	1 : 0,27 : 0,26	1 : 0,27 : 0,91
N ₁₆₀ P ₆₀	1 : 0,29 : 0,24	1 : 0,31 : 0,86
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	1 : 0,27 : 0,24	1 : 0,28 : 0,86
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	1 : 0,28 : 0,26	1 : 0,31 : 0,88
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	1 : 0,28 : 0,25	1 : 0,30 : 0,87
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	1 : 0,28 : 0,25	1 : 0,31 : 0,86
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	1 : 0,28 : 0,25	1 : 0,30 : 0,87
2024 р.		
Без добрив (контроль)	1 : 0,42 : 0,30	1 : 0,38 : 1,09
N ₈₀	1 : 0,30 : 0,21	1 : 0,31 : 0,83
N ₁₆₀	1 : 0,30 : 0,21	1 : 0,30 : 0,96
P ₆₀ K ₁₁₀	1 : 0,45 : 0,31	1 : 0,44 : 1,10
N ₁₆₀ K ₁₁₀	1 : 0,29 : 0,22	1 : 0,29 : 1,00
N ₁₆₀ P ₆₀	1 : 0,31 : 0,21	1 : 0,34 : 0,96
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	1 : 0,31 : 0,22	1 : 0,31 : 0,85
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	1 : 0,28 : 0,20	1 : 0,32 : 0,93
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	1 : 0,28 : 0,19	1 : 0,30 : 0,92
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	1 : 0,28 : 0,20	1 : 0,31 : 0,94
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	1 : 0,28 : 0,20	1 : 0,31 : 0,94

Таблиця 5.18

Баланс основних елементів живлення в ґрунті за вирощування кукурудзи залежно від видів і доз мінеральних добрив (2022–2024 рр.), кг/га

Варіант досліджу	Баланс за умови	
	видалення стебелиння з поля	залишення стебелиння на полі

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Без добрив (контроль)	-130,8	-49,0	-145,2	-98,0	-38,5	-31,5
N ₈₀	-131,6	-66,6	-193,9	-82,0	-50,8	-41,6
N ₁₆₀	-83,6	-76,7	-233,5	-18,8	-55,7	-45,5
P ₆₀ K ₁₁₀	-141,1	0,0	-51,4	-106,3	15,6	73,3
N ₁₆₀ K ₁₁₀	-84,2	-75,4	-135,8	-18,4	-55,4	60,7
N ₁₆₀ P ₆₀	-86,5	-25,2	-235,9	-20,0	0,7	-45,5
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	-142,0	-41,5	-151,6	-87,9	-23,6	10,5
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	-108,5	-31,4	-150,7	-36,0	-1,3	57,6
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	-100,9	-55,6	-195,6	-31,3	-28,9	5,3
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	-103,7	-29,2	-198,6	-32,8	0,0	5,1
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	-104,5	-56,1	-147,3	-32,8	-29,0	59,1

Найкраще, з найменшим дефіцитом, баланс азоту складався в усіх варіантах дослідів з внесенням азотних добрив у дозі 160кг/га д. р. За внесення повного мінерального добрива у таких варіантах за умови залишення стебелин на полі на добриво дефіцит азоту складав –31,3...–36,0 кг/га, а найбільший був на фосфорно-калійному тлі – –106,3 кг/га.

Видалення стебелин з поля значно погіршувало баланс азоту. Навіть у варіанті дослідів з внесенням N₈₀P₃₀K₅₅ він складався різко дефіцитним – –142,0 кг/га. Це свідчить про значне збіднення ґрунту на азот.

Фосфор є макроелементом у живленні рослин, а наявні у ґрунті рухомі сполуки фосфору можуть бути обмежувальним чинником їх інтенсивного росту й розвитку. Тому він регулярно застосовується як мінеральне добриво і є важливою складовою виробничих витрат. Залежно від балансу фосфору в системі удобрення, його вміст у ґрунті може накопичуватися або виснажуватися з часом. Виснаження ґрунту на фосфор збільшує ризик недоотримання врожаю, тоді як накопичення є вартісним і може збільшити його втрати у довкілля. Вважається, що дисбаланс фосфору становить третю

за величиною екологічну загрозу, а Зелена угода ЄС передбачає на 20 % зменшити використання добрив і на 50 % зменшити втрати поживних речовин до 2030 року. Зі зростанням вартості фосфорних добрив, а також ризику забруднення довкілля, у виробників виникає питання можливості зниження доз фосфорних добрив без ризику втрати врожаю.

Баланс фосфору в ґрунті за внесення фосфорних добрив під кукурудзу у дозі 60 кг/га д. р. і залишенні стебелин на полі наближався до урівноваженого (варіанти дослідів $N_{160}P_{60}$, $N_{160}P_{60}K_{110}$ і $N_{160}P_{60}K_{55}$) (див. табл. 5.18). При цьому на ділянках дослідів з внесенням азотних добрив, або їх поєднання лише з калійними (варіанти N_{80} , N_{160} і $N_{160}K_{110}$) він був сильно дефіцитним ($-50,8 \dots -55,7$ кг/га).

За умови видалення стебелин з поля під час збирання врожаю кукурудзи баланс фосфору, за виключенням варіанту дослідів $P_{60}K_{110}$, був дефіцитним у межах $-25,2 \dots -75,4$ кг/га.

Баланс калію в ґрунті за різних систем удобрення кукурудзи мав приблизно таку ж тенденцію, як і азоту: за внесення калійних добрив і залишенні стебелин на полі формувався додатний – $5,1 \dots 73,3$ кг/га залежно від дози калійних та інших добрив і їх поєднання. На ділянках дослідів без внесення калійних добрив дефіцитний баланс калію сягав – $31,5 \dots 45,5$ кг/га залежно від варіанту дослідів.

У загальному, з агрохімічного, екологічного та економічного поглядів найбільш близьким до урівноваженого балансу основних елементів живлення забезпечувала система удобрення кукурудзи із внесенням мінеральних добрив у дозі $N_{160}P_{60}K_{110}$ – за азотом $-32,8$ кг/га, фосфором – 0 і калієм $5,1$ кг/га.

Дози основних елементів живлення та їх поєднання в системі удобрення кукурудзи створювали різну інтенсивність їх балансу в ґрунті – за азотом – від 34,8 % до 299,7 % за калієм (табл. 5.19). За умови залишення стебелин на полі після збирання врожаю зерна та внесення азотних добрив у дозі 160 кг/га д. р. інтенсивність балансу азоту в середньому за

роки проведення досліджень складала 81,6–89,7 % залежно від варіанту досліду, що свідчить про неповне його повернення в ґрунт. При цьому фосфорні добрива, внесені в дозі 60 кг/га д. р., забезпечували інтенсивність балансу фосфору 97,9–135,1 %, тоді як у дозі 30 кг/га д. р. – 50,9–56,0 % залежно від системи удобрення.

Таблиця 5.19

**Інтенсивність балансу основних елементів живлення за
вирощування кукурудзи залежно від видів і доз мінеральних добрив
(2022–2024 рр.), %**

Варіант досліду	Інтенсивність балансу за умови					
	видалення соломи з поля			залишення соломи на полі		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
N ₈₀	37,8	—	—	49,4	—	—
N ₁₆₀	65,7	—	—	89,5	—	—
P ₆₀ K ₁₁₀	—	100,0	68,2	—	135,1	299,7
N ₁₆₀ K ₁₁₀	65,5	—	44,8	89,7	—	223,1
N ₁₆₀ P ₆₀	64,9	70,4	—	88,9	101,2	—
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	36,0	42,0	26,6	47,6	56,0	123,6
N ₁₆₀	59,6	65,6	42,2	81,6	97,9	209,9
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	61,3	35,0	21,9	83,6	50,9	110,7
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	60,7	67,3	21,7	83,0	100,0	110,2
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	60,5	34,8	42,8	83,0	50,8	216,1

Найліпшою була інтенсивність балансу калію за умови залишення стебеління кукурудзи на полі і внесення калійних добрив у дозі 55 і 110 кг/га д. р. – 110,2–299,7 % залежно від варіанту досліду. Це показує, що на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому значна частина калію для формування врожаю кукурудза може взяти із ґрунту.

За умови видалення стебеління з поля лише у варіанті досліду P₆₀K₁₁₀ інтенсивність балансу фосфору була 100,0 %. За інших систем удобрення й за іншими елементами живлення (азотом і фосфором) вона була меншою – 21,7–70,4 %.

Отже, можна зробити висновок, що в технології вирощування кукурудзи важливе значення у формуванні балансу основних елементів

живлення в ґрунті та його інтенсивності поряд з дозами мінеральних добрив важливе значення має і нетоварна продукція – стебелиння.

Висновки до розділу

Узагальнення даних літературних джерел і результатів проведених досліджень, наведених у розділі 5, показують, що розміри засвоєння елементів живлення кукурудзою обумовлені складною взаємодією властивостей ґрунтів, гідротермічними умовами вегетаційного періоду, системою застосування добрив, генетично обумовленими особливостями фізіології рослин тощо. Встановлено, що поглинання основних елементів живлення кукурудзою коригується гідротермічними умовами вегетаційного періоду та системою застосування добрив. Результати проведених досліджень показують наявність варіабельності хімічного складу зерна і стебелиння кукурудзи. Це обумовлено умовами її вирощування та мінерального живленням.

Кукурудза накопичує в надземній біомасі (зерно й стебелиння) значну кількість азоту – від 90,2 до 319,9 кг/га залежно від погодних умов року та особливостей удобрення. Найбільше на зміну цього показника впливає удобрення. Так, у середньому за три роки проведення досліджень на ділянках з внесенням повного мінерального добрива (варіант $N_{160}P_{60}K_{110}$) порівняно з неудобреними господарське винесення азоту підвищується в два рази. Найбільше на винесення азоту надземною біомасою кукурудзи впливає азотна складова повного добрива, потім фосфорна й калійна, відповідно підвищуючи його на тлі парних їх комбінацій на 81 %, 10 і 9 %. Зі зниженням дози повного мінерального добрива до $N_{80}P_{30}K_{55}$ господарське винесення азоту зменшується в 1,2 рази.

Види мінеральних добрив і дози їх внесення по-різному впливають на винесення калію різними частинами урожаю кукурудзи. Так, внесення лише азотних добрив у дозі 80 і 160 кг/га д. р. сприяє підвищенню винесення калію на 32–44 % зерном і на 34–65 % – стебелинням. Фосфорні добрива,

внесені в дозі 60 кг/га д. р., на азотно-калійному тлі ($N_{160}K_{110}$) сприяють підвищенню винесення калію зерном і стебелінням на 6 %. Найбільше винесення калію збільшує внесення калійних добрив на тлі $N_{160}P_{60}$ – на 15 % і 9 % відповідно зерном і стебелінням. За зниження частки калійних добрив у складі повного мінерального добрива ($N_{160}P_{60}K_{110}$) вдвічі – до 55 кг/га д. р., зменшується винесення калію зерном і стебелінням відповідно на 5 % і 2 %.

Винесення азоту одиницею продукції урожаю кукурудзи залежить як від погодних умов, так і від удобрення. У середньому за три роки проведення досліджень винесення азоту з 1 т зерна було 10,8–15,3 кг і збільшується з поліпшенням мінерального живлення рослин, у першу чергу азотного.

З 1 т стебеління кукурудза виносить з ґрунту незначну кількість азоту – 3,5–4,4 кг залежно від удобрення. Показник відносного винесення азоту зерном і відповідною кількістю соломи у середньому становить 14,4–20,9 кг/т і в основному залежав від рівня азотного живлення, створеного внесенням різних доз азотних добрив.

Винесення калію з 1 т зерна кукурудзи незначне – 3,6–4,2 кг, тоді як стебелінням – 12,2–13,0 кг/т залежно від удобрення. Ці показники змінюються неістотно залежно від погодних умов. Показник відносного винесення калію зерном і відповідною кількістю стебеління в проведеному досліді у межах 16,6–23,5 кг/т, а залежно від системи застосування добрив – 17,1–21,4 кг/т й підвищується завдяки поліпшенню в першу чергу азотного живлення рослин кукурудзи.

У варіантах досліді, що передбачають зменшення дози внесення фосфору й калію в складі повного мінерального добрива – $N_{160}P_{30}K_{55}$, $N_{160}P_{60}K_{55}$ і $N_{160}P_{30}K_{110}$ коефіцієнт використання азоту з добрив кукурудзою знижується на 2,5–4,4 % за показника з повною їх дозою 71,6 % (варіант $N_{160}P_{60}K_{110}$).

Коефіцієнт використання фосфору залежно від дози фосфорних добрив і їх поєднання з азотними і калійними у середньому за роки проведення

досліджень 16,1–31,3 %, а залежно від гідротермічних умов вегетаційного періоду та особливостей удобрення змінюється в межах 10,0–50,2 %.

Низький коефіцієнт використання калію з добрив перш за все можна пояснити значним задоволенням рослин калієм з ґрунтових запасів. Залежно від погодних умов і особливостей удобрення цей показник змінюється від 10,1 до 45,8 % і був найвищим (36,4 %) у середньому за три роки проведення досліджень у варіанті досліді $N_{160}P_{60}K_{55}$.

Найкраще, з найменшим дефіцитом, баланс азоту складається в усіх варіантах досліді з внесенням азотних добрив у дозі 160 кг/га д. р. За внесення повного мінерального добрива у таких варіантах за умови залишення стебеління на полі на добриво дефіцит азоту складає –31,3...–36,0 кг/га, а найбільший був на фосфорно-калійному тлі – -106,3 кг/га. Видалення стебеління з поля значно погіршує баланс азоту. Навіть у варіанті досліді з внесенням $N_{80}P_{30}K_{55}$ він складається різко дефіцитним – -142,0 кг/га. Це свідчить про значне збіднення ґрунту на азот.

Найліпшою є інтенсивність балансу калію за умови залишення стебеління кукурудзи на полі і внесення калійних добрив у дозі 55 і 110 кг/га д. р. – 110,2–299,7 % залежно від варіанту досліді. Це показує, що на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому значна частина калію для формування врожаю кукурудза може взяти із ґрунту.

За умови видалення стебеління з поля лише у варіанті досліді $P_{60}K_{110}$ інтенсивність балансу фосфору 100,0 %. За інших систем удобрення й за іншими елементами живлення (азотом і фосфором) вона менша – 21,7–70,4 %.

Основні положення цього розділу викладені в таких публікаціях автора [180, 104].

РОЗДІЛ 6

АГРОХІМІЧНЕ, ЕНЕРГЕТИЧНЕ ТА ЕКОНОМІЧНЕ

ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РІЗНИХ ВИДІВ І ДОЗ ДОБРИВ

ПІД КУКУРУДЗУ

Проведення оцінювання застосування певного заходу є важливим критерієм ефективності агротехнології вирощування сільськогосподарської культури. Такий підхід дає можливість врахувати реальні витрати і одержані прибутки і на цій основі розробити чи удосконалити найбільш доцільні технологічні рішення на всіх етапах технології вирощування культур [98].

Результати аналізу застосування добрив повинні бути спрямовані на пошук шляхів підвищення їх господарської ефективності та екологічної безпечності, визначення пріоритетних форм, обґрунтування їх доз і поєднань та економічної доцільності застосовуваної системи удобрення з метою одержання сталих приростів урожайності й прибутків від наявних ресурсів добрив. Це спонукає до необхідності систематично аналізування ефективності застосовуваної системи удобрення з метою виявлення резервів її підвищення [113].

За обмеженої можливої кількості застосовуваних добрив у зв'язку з диспаритетом цін на промислову продукцію та продукцію рослинництва їх потрібно застосовувати у дозах, формах і поєднаннях, що забезпечують найвищу окупність одиниці добрив урожаєм основної продукції. Залежно від властивостей ґрунту та його родючості, погодно-кліматичних, агротехнологічних, матеріально-технічних умов та інших чинників показники окупності добрив можуть змінюватися в широких межах [112].

Агрохімічну ефективність систем удобрення на тлі залишення на полі нетоварної частини врожаю на добриво визначали за величиною приростів середньорічної урожайності кукурудзи та показником окупності одиниці мінеральних добрив приростом врожаю зерна. Встановлено, що залежно від системи застосування добрив, тобто від їх видів, доз і поєднань, на

формування однієї тонни зерна кукурудзи витрачалося 25–215 кг їх діючої речовини (табл. 6.1). При цьому найбільші витрати добрив були за внесення лише фосфорних і калійних добрив. найбільш ефективним за цим показником було внесення під кукурудзу внесення лише азотних добрив у дозі 80 і 160 кг д. р./га та половини дози повного мінерального добрива ($N_{80}P_{30}K_{55}$), де витрати добрив на формування 1 т приросту врожаю були у межах 25–47 кг д. р. За парними комбінаціями азотно-калійних і азотно-фосфорних добрив, а також внесення повного мінерального добрива у дозі $N_{160}P_{30-60}K_{55-110}$ витрати зростали до рівня 55–76 кг д. р. При цьому необхідно виділити варіант дослідів $N_{160}P_{30}K_{55}$, де витрати добрив на формування 1 т зерна порівняно з виробничим контролем ($N_{160}P_{60}K_{110}$) зменшувалися на 16 кг д. р. або на 21 %.

Таблиця 6.1

**Агрохімічна ефективність застосування добрив під кукурудзу,
2022–2024 рр.**

Варіант дослідів	Витрати добрив на формування 1 т приросту врожаю зерна, кг д. р.	Окупність 1 кг д. р. добрив, кг зерна			
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N + P ₂ O + K ₂ O
N ₈₀	25	39,6	—	—	39,6
N ₁₆₀	40	25,1	—	—	25,1
P ₆₀ K ₁₁₀	215	—	—	—	4,6
N ₁₆₀ K ₁₁₀	66	—	—	0,5	15,1
N ₁₆₀ P ₆₀	53	—	2,5	—	19,0
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	47	—	—	—	21,1
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	76	22,4	4,8	1,8	13,2
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	60	—	—	—	16,7
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	65	—	—	1,5	15,5
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	72	—	3,3	—	13,9

Схему дослідів складено так, що дозволяє визначити окупність кожного виду мінеральних добрив за різних доз його внесення. Як видно з даних

табл. 6.1, кукурудза найбільше реагує на внесення азотних добрив, а потім фосфорних. Частка участі калійних добрив у формуванні врожаю незначна – 0,5–1,8 кг зерна на 1 кг K_2O .

Найвищу окупність 1 кг д. р. мінеральних добрив ($N + P_2O + K_2O$) у середньому за три роки проведення досліджень забезпечував варіант досліду $N_{80}P_{30}K_{55}$ – 21,1 кг, що на 16,5 кг вище порівняно з варіантом $P_{60}K_{110}$, на 6 – з варіантом $N_{160}K_{110}$ і на 2,1 кг – з варіантом $N_{160}P_{60}$.

Зменшення дози фосфорних і калійних добрив у складі повного мінерального добрива ($N_{160}P_{60}K_{110}$) сприяло підвищенню окупності 1 кг $N + P_2O + K_2O$ з 13,2 кг до 13,9–16,7 кг, або на 5–27 %.

Інтенсифікація технологій вирощування сільськогосподарських культур, підвищення їх урожайності та якості одержаної продукції супроводжуються збільшенням витрат не відновлюваної енергії, зокрема на застосування мінеральних добрив. Визначення енерговіддачі мінеральних добрив стає дедалі актуальнішим у зв'язку зі збільшенням диспаритету цін, що спонукає до зменшення доз їх внесення навіть за інтенсивного господарювання. Тому важливо розробляти і застосовувати енергоекономічні системи застосування добрив, впровадження яких сприятиме меншій витраті енергії на виробництво рослинницької продукції [113].

В умовах зменшення доступу до сировинних і енергетичних ресурсів, значного подорожчання технологій вирощування сільськогосподарських культур, підвищення вартості переробки додатково одержаної продукції додаткове проведення енергетичного оцінювання різних складових технології дозволяє врахувати кількість енергії, що акумулюється у продукції та витрачається на її утворення [98].

В умовах ринкової економіки економічне оцінювання ефективності застосування добрив у грошовому вимірі має важливе значення. Проте за нестабільних цін на мінеральні добрива, паливо-мастильні матеріали і на продукцію рослинництва вона актуальна лише на короткий проміжок часу. Вважається [112], що об'єктивнішу та тривалішу уяву про їх ефективність

дають розрахунки енергетичних показників.

Розрахунки показали, що енергоємність приросту врожаю зерна кукурудзи у значній мірі залежить від внесення в першу чергу азотних добрив (табл. 6.2). на ділянках дослідів з внесенням азотних добрив у дозі 80 і 160 кг д. р./га як окремо, так і в різному поєднанні з фосфорними і калійними добривами енергоємність приросту врожаю зерна була в межах 52,1–71,9 ГДж/га або змінювалась на 38 %. Зменшення в складі повного мінерального добрива дози внесення фосфорних і калійних добрив удвічі (варіант $N_{80}P_{30}K_{55}$) знижувало цей показник у середньому за роки проведення досліджень на 7 %, а за внесення лише азотних і фосфорних добрив ($N_{160}P_{60}$) – на 5 %.

Таблиця 6.2

**Енергетична ефективність застосування добрив під кукурудзу,
2022–2024 рр.**

Варіант дослідів	Енергоємність, ГДж/га		Чистий енергетичний дохід, ГДж/га	K_{ee}^*	Енергетична собівартість 1 т приросту врожаю зерна, ГДж
	приросту врожаю зерна	застосування добрив			
N_{80}	52,1	6,9	45,2	6,53	2,2
N_{160}	66,1	13,9	52,3	3,77	3,4
$P_{60}K_{110}$	13,0	3,4	9,6	2,84	4,3
$N_{160}K_{110}$	67,1	15,0	52,2	3,49	3,7
$N_{160}P_{60}$	68,6	16,1	52,5	3,25	3,9
$N_{80}P_{30}K_{55}$	57,2	8,6	48,6	5,64	2,5
$N_{160}P_{60}K_{110}$	71,9	17,2	54,7	3,17	3,9
$N_{160}P_{30}K_{55}$	67,1	15,5	51,6	3,32	3,8
$N_{160}P_{60}K_{55}$	69,9	16,7	53,2	3,19	3,9
$N_{160}P_{30}K_{110}$	68,8	16,1	52,7	3,27	3,9

Примітка. K_{ee} – коефіцієнт енергетичної ефективності.

На показник енергоємності застосування добрив під кукурудзу найбільше впливала азотна складова системи удобрення. Частка фосфорних і калійних добрив була незначною – 19,8 %, тому зменшення доз їх внесення

вдвічі сприяло незначному зниженню цього показника.

Чистий енергетичний дохід від застосування добрив під кукурудзу був у межах 45,2–54,7 ГДж/га, за виключенням варіанту дослід з внесенням лише фосфорних і калійних добрив (варіант $P_{60}K_{110}$), де він був значно нижчим – 9,6 ГДж/га.

Зменшення в складі повного мінерального добрива ($N_{160}P_{60}K_{110}$) фосфорних і калійних добрив удвічі (варіант дослід $N_{160}P_{30}K_{55}$) викликало зниження чистого енергетичного доходу на 3,1 ГДж/га або на 6 %, тоді як лише фосфорних або калійних добрив – відповідно на 3 і 4 %.

Найвищий енергетичний коефіцієнт енергетичної ефективності застосування добрив під кукурудзу забезпечував варіант дослід N_{80} – 6,53, тоді як за інших систем удобрення він був у межах 2,84–5,64. При цьому необхідно відзначити кращий варіант дослід $N_{80}P_{30}K_{55}$ з показником енергетичної ефективності 5,64.

Показник енергетичної собівартості 1 т приросту врожаю зерна кукурудзи був найнижчим у середньому за роки проведення досліджень у варіантах дослід N_{80} і $N_{80}P_{30}K_{55}$ – відповідно 2,2 і 2,5. В інших варіантах дослід, за виключенням варіанту $P_{60}K_{110}$, він був у межах 3,4–3,9. Зниження дози внесення фосфорних або калійних добрив у складі повного мінерального добрива вдвічі (варіанти $N_{160}P_{30}K_{110}$ і $N_{160}P_{60}K_{55}$), а також без внесення калійних добрив (варіант $N_{160}P_{60}$) не знижувало енергетичної собівартості 1 т приросту врожаю зерна.

Під час проведення розрахунків енергетичної ефективності застосування різних видів мінеральних добрив, їх доз і поєднань враховували, що енергетична собівартість 1 кг д. р. азотних добрив становить 86,6 МДж, фосфорних і калійних – відповідно 38 і 10 МДж енергії. Вміст енергії в 1 кг зерна кукурудзи 15,14 МДж. Енерговитрати, що пов'язані з доробкою 1 т додатково одержаного зерна кукурудзи, становлять 2560 МДж.

Для розрахунку економічної ефективності застосування різних систем

удобрення під кукурудзу на тлі залишення на полі на добриво соломи пшениці озимої користувалися цінами, що склалися в аграрному секторі економіки України в IV кварталі 2024 року.

Витрати на навантаження, перевезення та внесення мінеральних добрив, а також, пов'язані з приростом урожаю зерна кукурудзи (його збиранням, перевезенням, очищенням тощо) розраховували за технологічними картами.

Проведені розрахунки показали, що економічна ефективність систем застосування добрив, що вивчалися в досліді, істотно залежала від видів мінеральних добрив, їх доз та поєднань (табл. 6.3).

Таблиця 6.3

**Економічна ефективність застосування добрив під кукурудзу,
2022–2024 рр.**

Варіант досліджу	Показник				
	Приріст урожайності, т/га	Вартість приросту урожаю зерна, грн/га	Витрати на застосування добрив, грн/га	Умовно чистий прибуток/збиток, грн/га	Рівень рентабельності / збитковості за умовно чистим прибутком, %
N ₈₀	3,17	31066	4456	26610	497
N ₁₆₀	4,02	39396	8987	30409	238
P ₆₀ K ₁₁₀	0,79	7742	11512	-3770	-133
N ₁₆₀ K ₁₁₀	4,08	39984	14254	25730	81
N ₁₆₀ P ₆₀	4,17	40866	13489	27377	103
N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	3,48	34104	9898	24206	145
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	4,37	42826	19560	23266	19
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	4,08	39984	14392	25592	78
N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	4,25	41650	17065	24585	44
N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	4,18	40964	17476	23488	34

На показники економічної ефективності застосування добрив під кукурудзу в більшій мірі впливали витрати на застосування добрив, тоді як

прирости урожайності зерна були у межах 3,17–4,48 т/га, а отже, і його вартість становила 31066–34104 грн, за виключенням варіанту досліді $P_{60}K_{110}$.

Як уже зазначалося вище, основними обмежувальними чинниками формування продуктивності кукурудзи на чорноземі опідзоленому регіону є забезпеченість рослин вологою, що обмежує її рівень, а також низька здатність забезпечувати рослини азотом. Не дивлячись на це, вартість приросту врожаю зерна в усіх варіантах досліді, за виключенням варіанту $P_{60}K_{110}$, була більшою за витрати на застосування добрив. Витрати на застосування добрив за різних систем удобрення залежали як від видів добрив, доз їх внесення, так і поєднання. Найбільшими вони були у варіанті досліді виробничого контролю ($N_{160}P_{60}K_{110}$) – 19560 грн/га і знижувалися у варіанті досліді зі зменшенням доз внесення фосфорних і калійних добрив ($N_{160}P_{30}K_{55}$ і $N_{160}P_{60}K_{55}$) і $N_{160}P_{60}$ відповідно на 26 %, 13 і 11 %. Це сприяло отриманню вищого умовно чистого прибутку відповідно на 10 %, 6 і 1 %. Необхідно також зазначити, що найвищий умовно чистий прибуток у досліді в середньому за три роки проведення досліджень отримано у варіанті досліді з внесенням під кукурудзу лише азотних добрив у дозі 160 кг д. р./га – 30409 грн, а збитковим був варіант $P_{60}K_{110}$ – -3770 грн/га.

За показником умовно чистого прибутку виробничий контроль ($N_{160}P_{60}K_{110}$) також переважали і низка інших варіантів досліді, системи удобрення яких у скрутних економічних умовах господарювання можна застосовувати лише тимчасово, тому що вони погіршуватимуть баланс поживних речовин у ґрунті. Це знижуватиме його родючість.

Найвищий рівень рентабельності за умовно чистим прибутком забезпечували варіанти досліді з внесенням під кукурудзу лише азотних добрив, а також внесення половинної дози добрив від виробничого контролю ($N_{80}P_{30}K_{55}$). Високий рівень рентабельності застосування добрив – 103 % був також у варіанті досліді без застосування калійних добрив – $N_{160}P_{60}$. Зниження дози внесення фосфорних і калійних добрив у складі

повного мінерального добрива ($N_{160}P_{60}K_{110}$) – варіанти дослідів $N_{160}P_{30}K_{55}$, $N_{160}P_{30}K_{110}$ і $N_{160}P_{60}K_{55}$ сприяли підвищенню рівня рентабельності їх застосування відповідно на 59 %, 25 і 15 %.

Отже, від систем застосування добрив під кукурудзу, що вивчалися в досліді. В середньому за три роки проведення досліджень, за виключенням варіанту $P_{60}K_{110}$, були економічно виправданими. Їх ефективність залежала як від видів мінеральних добрив, їх доз і поєднань у системі удобрення.

Оптимальні дози мінеральних добрив під сільськогосподарські культури встановлюють за результатами польових дослідів, а також розраховуються за різними методиками, але зазвичай вони не відповідають ринковим умовам. Традиційно вважається, що найкращою є доза добрив, що забезпечує максимальний приріст урожайності основної продукції культури. Проте в економічному відношенні це не завжди є доцільним. Оптимізація доз мінеральних добрив за окупністю їх приростом урожаю основної продукції не забезпечує формування високого рівня врожаю, а значне зростання цін на добрива ще більше загострює проблему ефективного їх застосування [112]. Тому важливо оптимізувати дози добрив та поєднання їх видів за іншими показниками, що враховують рівень продуктивності культур, прибутковості та енергоємності [98].

Оцінювання ефективності різних систем удобрення кукурудзи проводили з використанням комплексного показника, що враховує рівень урожайності культури, прибутковості та енергетичні витрати на застосування добрив [113].

Такий підхід дозволяє звести до одного знаменника всі розраховані показники ефективності, що мають різну розмірність (рис. 6.1).

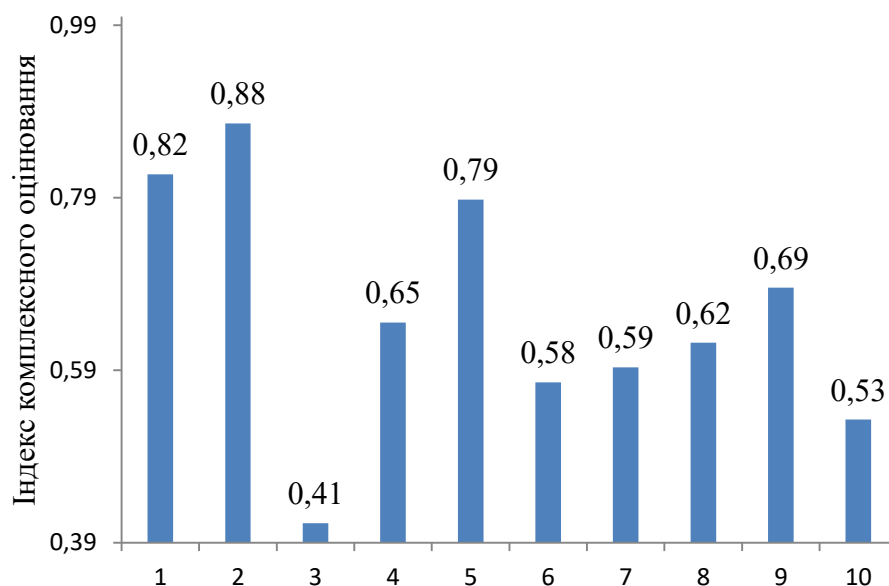


Рис. 6.1 Індекс комплексного оцінювання систем удобрення кукурудзи, 2022–2024 рр.: 1) N_{80} ; 2) N_{160} ; 3) $P_{60}K_{110}$; 4) $N_{160}K_{110}$; 5) $N_{160}P_{60}$; 6) $N_{80}P_{30}K_{55}$; 7) $N_{160}P_{60}K_{110}$; 8) $N_{160}P_{30}K_{55}$; 9) $N_{160}P_{60}K_{55}$; 10) $N_{160}P_{30}K_{110}$

Як видно з рис. 6.1, найвищий індекс комплексного оцінювання (ІКО) забезпечувало внесення під кукурудзу добрив у дозі 80 і 160 кг д. р./га – відповідно 0,82 і 0,86, а найнижчим цей показник був за внесення лише фосфорних і калійних добрив (варіант $P_{60}K_{110}$) – 0,41. Звертає на себе увагу варіант дослідів $N_{160}P_{60}$, де ІКО становив 0,79, що значно вище порівняно з варіантом дослідів $N_{160}K_{110}$ та іншими варіантами дослідів з внесенням повного мінерального добрива.

Порівняно з виробничим контролем (варіант $N_{160}P_{60}K_{110}$) за зниження дози внесення калійних добрив простежувалось незначне – на 0,10 од. або на 17 % підвищення ІКО, тоді як зниження дози фосфорних добрив (варіант $N_{160}P_{30}K_{110}$) знижувало цей показник на 0,06 од. або на 10 %.

У результаті проведених досліджень встановлено, що:

Найвищу окупність 1 кг д. р. мінеральних добрив ($N + P_2O + K_2O$) у середньому за три роки проведення досліджень забезпечує варіант дослідів $N_{80}P_{30}K_{55}$ – 21,1 кг, що на 16,5 кг вище порівняно з варіантом $P_{60}K_{110}$, на 6 –

з варіантом $N_{160}K_{110}$ і на 2,1 кг – з варіантом $N_{160}P_{60}$. Зменшення дози фосфорних і калійних добрив у складі повного мінерального добрива ($N_{160}P_{60}K_{110}$) сприяє підвищенню окупності 1 кг $N + P_2O + K_2O$ з 13,2 кг до 13,9–16,7 кг, або на 5–27 %.

Чистий енергетичний дохід від застосування добрив під кукурудзу у межах 45,2–54,7 ГДж/га, за виключенням варіанту дослідів з внесенням лише фосфорних і калійних добрив (варіант $P_{60}K_{110}$), де він значно нижчий – 9,6 ГДж/га. Зменшення в складі повного мінерального добрива ($N_{160}P_{60}K_{110}$) фосфорних і калійних добрив удвічі (варіант дослідів $N_{160}P_{30}K_{55}$) викликало зниження чистого енергетичного доходу на 3,1 ГДж/га або на 6 %, тоді як лише фосфорних або калійних добрив – відповідно на 3 і 4 %.

Найвищий енергетичний коефіцієнт енергетичної ефективності застосування добрив під кукурудзу забезпечує варіант дослідів N_{80} – 6,53, тоді як за інших систем удобрення він був у межах 2,84–5,64. При цьому необхідно відзначити кращий варіант дослідів $N_{80}P_{30}K_{55}$ з показником енергетичної ефективності 5,64.

Найвищий рівень рентабельності за умовно чистим прибутком забезпечують варіанти дослідів з внесенням під кукурудзу лише азотних добрив, а також внесення половинної дози добрив від виробничого контролю ($N_{80}P_{30}K_{55}$). Високий рівень рентабельності застосування добрив – 103 % також у варіанті дослідів без застосування калійних добрив – $N_{160}P_{60}$. Зниження дози внесення фосфорних і калійних добрив у складі повного мінерального добрива ($N_{160}P_{60}K_{110}$) – варіанти дослідів $N_{160}P_{30}K_{55}$, $N_{160}P_{30}K_{110}$ і $N_{160}P_{60}K_{55}$ сприяють підвищенню рівня рентабельності їх застосування відповідно на 59 %, 25 і 15 %.

Найвищий індекс комплексного оцінювання (ІКО) забезпечує внесення під кукурудзу добрив у дозі 80 і 160 кг д. р./га – відповідно 0,82 і 0,86, а найнижчий цей показник за внесення лише фосфорних і калійних добрив (варіант $P_{60}K_{110}$) – 0,41. Звертає на себе увагу варіант дослідів $N_{160}P_{60}$, де ІКО

становить 0,79, що значно вище порівняно з варіантом дослідів $N_{160}K_{110}$ та іншими варіантами дослідів з внесенням повного мінерального добрива.

Результати, що подано в розділі, висвітлено в праці [105].

ВИСНОВКИ

У дисертації встановлено ефективність застосування різних видів, доз мінеральних добрив і їх поєднань під кукурудзу у 4-пільній сівозміні за тривалого їх внесення, що виявляється в наступному:

Серед досліджуваних варіантів внесення мінеральних добрив найбільші лінійні розміри рослин кукурудзи були відмічені у варіантах досліду з внесенням високої дози азотних добрив (160 кг/га д. р.) – 275–312 см. За внесення азотних добрив у дозі 80 кг д. р./га висота рослин була дещо меншою і становила 272–305 см залежно від погодних умов вегетаційного періоду.

У середньому за три роки досліджень маса зерна в качані збільшувалась найбільше за систем удобрення, що включали азотний компонент. При цьому цей показник зростав лише на 6 % за збільшення дози азотних добрив від 80 до 160 кг/га д. р. Маса зерна качана кукурудзи за повного мінерального добрива ($N_{160}P_{60}K_{110}$) зростала на 41 % порівняно з контролем і лише на 2 % порівняно з внесенням N_{160} .

Застосування добрив достовірно збільшувало масу однієї рослини у фазу повної стиглості зерна кукурудзи. У середньому за три роки досліджень маса однієї рослини збільшувалась найбільше за систем удобрення, що включали азотний компонент. При цьому цей показник зростав лише на 18 % за збільшення дози азотних добрив від 80 до 160 кг/га д. р. Маса однієї рослини кукурудзи за повного мінерального добрива ($N_{160}P_{60}K_{110}$) зростала на 63 % порівняно з контролем і лише на 4 % порівняно з внесенням N_{160} .

Результати розрахунків свідчать, що частка зерна в вегетативній масі кукурудзи знижувалась від застосування добрив, крім фосфорно-калійної системи. За фактичної вологості цей показник у варіанті без добрив становив на рівні 42,3 % і знижувався до 38,0–41,8 % за внесення добрив з азотною складовою. При цьому за використання в обрахунках показників в

абсолютно сухій масі частка зерна також мала подібну тенденцію, проте змінювалась від 44,1 до 49,0 % залежно від варіанту досліду. Частка зерна в вегетативній масі також змінювалась упродовж років досліджень. Так, найвищою вона була в 2022 р., а найменшою – в 2024 р. Частка зерна в розрахунку на абсолютно суху масу була вищою, проте мала подібну тенденцію.

У системі удобрення кукурудзи важливе значення має азотна складова повного мінерального добрива. При цьому високу ефективність за тривалого застосування добрив має доза азотних добрив на рівні 80 кг/га д. р. Маса зерна в одному качані може змінюватись від 108,4 до 143,6 г на ділянках без добрив і від 148,9 до 193,3 г за систем удобрення з азотною складовою. При цьому частка зерна в фітомасі кукурудзи від застосування азотних добрив у різних комбінаціях знижується.

У середньому за три роки проведення досліджень на фосфорно-калійному тлі кількість зерен у качані кукурудзи збільшується на 20 шт. або на 5 %, тоді як у варіантах досліду N_{80} і N_{160} – відповідно на 26 % і 29 %. В інших варіантах досліду з удобренням цей показник у межах 549–564 шт. або змінюється лише на 3 %.

У варіанті досліду без добрив найнижча маса 1000 зерен кукурудзи (287 г) формується в умовах 2022 року, а найвища – на 52 г в 2023 році. Такі ж закономірності спостерігалися і в інших варіантах досліду.

З основних елементів живлення на тлі застосування парних їх комбінацій у середньому за три роки проведення досліджень важливе значення має поліпшення азотного живлення рослин кукурудзи – маса 1000 зерен збільшується на 12 г або на 7 %. Фосфорна й калійна складові повного мінерального добрива ($N_{160}P_{60}K_{110}$) сприяють підвищенню цього показника лише на 5 г або на 1 %.

На тлі зменшеної удвічі дози внесення повного мінерального добрива (варіант $N_{80}P_{30}K_{55}$) зниження маси 1000 зерен незначне – лише на 3 %. Зменшення в складі повного мінерального добрива частки фосфору й калію

в складі повного мінерального добрива в усі роки проведення досліджень не має істотного впливу на цей показник.

Урожайність та якість зерна кукурудзи достовірно змінюється залежно від видів і доз добрив, рівень прояву яких визначається погодними умовами. У середньому за три роки досліджень урожайність збільшується від 10,36 до 14,73 т/га залежно від варіанту досліду. За внесення N_{80} цей показник збільшується до 13,53 т/га або на 31 % порівняно з ділянками без добрив. У варіанті з подвійною дозою азотних добрив урожайність становить 14,38 т/га або більше на 39 %. Необхідно відзначити, що врожайність при цьому є лише на 6 % більшою порівняно з внесенням N_{80} . За внесення половини повного мінерального добрива збільшує врожайність зерна до 13,84 т/га або на 34 % порівняно з контролем. За внесення повного мінерального добрива вона збільшується до 14,73 т/га або на 42 %. Необхідно відзначити, що при цьому врожайність лише на 2 % більша порівняно з азотними системами удобрення.

Урожайність зерна кукурудзи за вирощування на азотно-калійній, азотно-фосфорній системі та з неповним поверненням фосфорних і калійних добрив на рівні варіанту з повним поверненням елементів живлення.

Найменше на врожайність кукурудзи впливає застосування фосфорних і калійних добрив. Як у середньому, так і за роки проведення досліджень урожайність збільшується недостовірно порівняно з варіантом без добрив.

У середньому за три роки досліджень вміст крохмалю в зерні кукурудзи знижувався від внесення добрив. Так, у варіанті без добрив його вміст становить 71,8 %, а за вирощування кукурудзи на системах, що містять азотну складову знижується до 70,9–71,4 %.

Застосування удобрення значно впливає на формування вмісту білка в зерні кукурудзи. Так, у середньому за три роки вміст білка зростає від 6,5 до 8,3 % за внесення N_{80} і до 8,6 % у варіанті N_{160} . Застосування найбільшої дози азотних добрив з різним поверненням фосфорних і калійних добрив сприяє підвищенню вмісту білка до 9,1–9,2 %, що свідчить про синергізм

між основними елементами живлення.

У Правобережному Лісостепу доцільно застосовувати $N_{80}P_{30}K_{55}$, що забезпечує формування 11,82–15,72 т/га зерна з вмістом крохмалю 70,7–72,1 %, його збір – 8,42–11,11 т/га, вмістом білка – 7,1–9,2 %, його збір – 0,84–1,45 т/га.

Узагальнення даних літературних джерел і результатів проведених досліджень показують, що розміри засвоєння елементів живлення кукурудзою обумовлені складною взаємодією властивостей ґрунтів, гідротермічними умовами вегетаційного періоду, системою застосування добрив, генетично обумовленими особливостями фізіології рослин тощо. Встановлено, що поглинання основних елементів живлення кукурудзою коригується гідротермічними умовами вегетаційного періоду та системою застосування добрив. Результати проведених досліджень показують наявність варіабельності хімічного складу зерна і стебелиння кукурудзи. Це обумовлено умовами її вирощування та мінерального живленням.

Кукурудза накопичує в надземній біомасі (зерно й стебелиння) значну кількість азоту – від 90,2 до 319,9 кг/га залежно від погодних умов року та особливостей удобрення. Найбільше на зміну цього показника впливає удобрення. Так, у середньому за три роки проведення досліджень на ділянках з внесенням повного мінерального добрива (варіант $N_{160}P_{60}K_{110}$) порівняно з неудобреними господарське винесення азоту підвищується в два рази. Найбільше на винесення азоту надземною біомасою кукурудзи впливає азотна складова повного добрива, потім фосфорна й калійна, відповідно підвищуючи його на тлі парних їх комбінацій на 81 %, 10 і 9 %. Зі зниженням дози повного мінерального добрива до $N_{80}P_{30}K_{55}$ господарське винесення азоту зменшується в 1,2 рази.

Види мінеральних добрив і дози їх внесення по-різному впливають на винесення калію різними частинами урожаю кукурудзи. Так, внесення лише азотних добрив у дозі 80 і 160 кг/га д. р. сприяє підвищенню винесення калію на 32–44 % зерном і на 34–65 % – стебелинням. Фосфорні добрива,

внесені в дозі 60 кг/га д. р., на азотно-калійному тлі ($N_{160}K_{110}$) сприяють підвищенню винесення калію зерном і стебелінням на 6 %. Найбільше винесення калію збільшує внесення калійних добрив на тлі $N_{160}P_{60}$ – на 15 % і 9 % відповідно зерном і стебелінням. За зниження частки калійних добрив у складі повного мінерального добрива ($N_{160}P_{60}K_{110}$) вдвічі – до 55 кг/га д. р., зменшується винесення калію зерном і стебелінням відповідно на 5 % і 2 %.

Винесення азоту одиницею продукції урожаю кукурудзи залежить як від погодних умов, так і від удобрення. У середньому за три роки проведення досліджень винесення азоту з 1 т зерна було 10,8–15,3 кг і збільшується з поліпшенням мінерального живлення рослин, у першу чергу азотного.

З 1 т стебеління кукурудза виносить з ґрунту незначну кількість азоту – 3,5–4,4 кг залежно від удобрення. Показник відносного винесення азоту зерном і відповідною кількістю стебел у середньому становить 14,4–20,9 кг/т і в основному залежав від рівня азотного живлення, створеного внесенням різних доз азотних добрив.

Винесення калію з 1 т зерна кукурудзи незначне – 3,6–4,2 кг, тоді як стебелінням – 12,2–13,0 кг/т залежно від удобрення. Ці показники змінюються неістотно залежно від погодних умов. Показник відносного винесення калію зерном і відповідною кількістю стебеління в проведеному досліді у межах 16,6–23,5 кг/т, а залежно від системи застосування добрив – 17,1–21,4 кг/т й підвищується завдяки поліпшенню в першу чергу азотного живлення рослин кукурудзи.

У варіантах досліді, що передбачають зменшення дози внесення фосфору й калію в складі повного мінерального добрива – $N_{160}P_{30}K_{55}$, $N_{160}P_{60}K_{55}$ і $N_{160}P_{30}K_{110}$ коефіцієнт використання азоту з добрив кукурудзою знижується на 2,5–4,4 % за показника з повною їх дозою 71,6 % (варіант $N_{160}P_{60}K_{110}$).

Коефіцієнт використання фосфору залежно від дози фосфорних добрив і їх поєднання з азотними і калійними у середньому за роки проведення

досліджень 16,1–31,3 %, а залежно від гідротермічних умов вегетаційного періоду та особливостей удобрення змінюється в межах 10,0–50,2 %.

Низький коефіцієнт використання калію з добрив перш за все можна пояснити значним задоволенням рослин калієм з ґрунтових запасів. Залежно від погодних умов і особливостей удобрення цей показник змінюється від 10,1 до 45,8 % і був найвищим (36,4 %) у середньому за три роки проведення досліджень у варіанті досліді $N_{160}P_{60}K_{55}$.

Найкраще, з найменшим дефіцитом, баланс азоту складається в усіх варіантах досліді з внесенням азотних добрив у дозі 160 кг/га д. р. За внесення повного мінерального добрива у таких варіантах за умови залишення стебелиння на полі на добриво дефіцит азоту складає –31,3...–36,0 кг/га, а найбільший був на фосфорно-калійному тлі – -106,3 кг/га. Видалення стебелиння з поля значно погіршує баланс азоту. Навіть у варіанті досліді з внесенням $N_{80}P_{30}K_{55}$ він складається різко дефіцитним – -142,0 кг/га. Це свідчить про значне збіднення ґрунту на азот.

Найліпшою є інтенсивність балансу калію за умови залишення стебелиння кукурудзи на полі і внесення калійних добрив у дозі 55 і 110 кг/га д. р. – 110,2–299,7 % залежно від варіанту досліді. Це показує, що на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому значна частина калію для формування врожаю кукурудза може взяти із ґрунту.

За умови видалення стебелиння з поля лише у варіанті досліді $P_{60}K_{110}$ інтенсивність балансу фосфору 100,0 %. За інших систем удобрення й за іншими елементами живлення (азотом і фосфором) вона менша – 21,7–70,4 %.

Найвищу окупність 1 кг д. р. мінеральних добрив ($N + P_2O + K_2O$) у середньому за три роки проведення досліджень забезпечує варіант досліді $N_{80}P_{30}K_{55}$ – 21,1 кг, що на 16,5 кг вище порівняно з варіантом $P_{60}K_{110}$, на 6 – з варіантом $N_{160}K_{110}$ і на 2,1 кг – з варіантом $N_{160}P_{60}$. Зменшення дози фосфорних і калійних добрив у складі повного мінерального добрива ($N_{160}P_{60}K_{110}$) сприяє підвищенню окупності 1 кг $N + P_2O + K_2O$ з 13,2 кг до

13,9–16,7 кг, або на 5–27 %.

Чистий енергетичний дохід від застосування добрив під кукурудзу у межах 45,2–54,7 ГДж/га, за виключенням варіанту дослідів з внесенням лише фосфорних і калійних добрив (варіант $P_{60}K_{110}$), де він значно нижчий – 9,6 ГДж/га. Зменшення в складі повного мінерального добрива ($N_{160}P_{60}K_{110}$) фосфорних і калійних добрив удвічі (варіант дослідів $N_{160}P_{30}K_{55}$) викликало зниження чистого енергетичного доходу на 3,1 ГДж/га або на 6 %, тоді як лише фосфорних або калійних добрив – відповідно на 3 і 4 %.

Найвищий енергетичний коефіцієнт енергетичної ефективності застосування добрив під кукурудзу забезпечує варіант дослідів N_{80} – 6,53, тоді як за інших систем удобрення він був у межах 2,84–5,64. При цьому необхідно відзначити кращий варіант дослідів $N_{80}P_{30}K_{55}$ з показником енергетичної ефективності 5,64.

Найвищий рівень рентабельності за умовно чистим прибутком забезпечують варіанти дослідів з внесенням під кукурудзу лише азотних добрив, а також внесення половинної дози добрив від виробничого контролю ($N_{80}P_{30}K_{55}$). Високий рівень рентабельності застосування добрив – 103 % також у варіанті дослідів без застосування калійних добрив – $N_{160}P_{60}$. Зниження дози внесення фосфорних і калійних добрив у складі повного мінерального добрива ($N_{160}P_{60}K_{110}$) – варіанти дослідів $N_{160}P_{30}K_{55}$, $N_{160}P_{30}K_{110}$ і $N_{160}P_{60}K_{55}$ сприяють підвищенню рівня рентабельності їх застосування відповідно на 59 %, 25 і 15 %.

Найвищий індекс комплексного оцінювання (ІКО) забезпечує внесення під кукурудзу добрив у дозі 80 і 160 кг д. р./га – відповідно 0,82 і 0,86, а найнижчий цей показник за внесення лише фосфорних і калійних добрив (варіант $P_{60}K_{110}$) – 0,41. Звертає на себе увагу варіант дослідів $N_{160}P_{60}$, де ІКО становить 0,79, що значно вище порівняно з варіантом дослідів $N_{160}K_{110}$ та іншими варіантами дослідів з внесенням повного мінерального добрива.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

В умовах Правобережного Лісостепу на чорноземі опідзоленому для отримання високого врожаю зерна кукурудзи з урахуванням економічної, агрохімічної, енергетичної ефективності та інтенсивності балансу основних елементів живлення в ґрунті застосовувати $N_{80}P_{30}K_{55}$ за умови вирощування після пшениці озимої в чотирипільній сівозміні та залишення на полі нетоварної частини урожаю культур.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Agapie A. L., Sala F. The variation of protein content in maize grains in relation to the fertilization level. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*. Vol. 22. Issue 4, 2022. P. 31–38.
2. Ali Sajid, Subhan Uddin, Osaid Ullah, Shahen Shah, Serajud-Din, Taj Ali. Yield and yield components of maize response to compost and fertilizer-nitrogen. *Food Science and Quality Management*. 2015. Vol. 38. P. 39–44.
3. Andi Faisal Sudding et al. Study of Fertilizer Dosages of Urea and NPK Phonska on Growth and Production of Corn on Dry Land in Muna Regency, Southeast Sulawesi. *Proceedings of National Seminar of Cereal*. 2015. P. 98–112.
4. Asghar A., Ali A., Syed W.H., Asif M.T., Khaliq, Abid A.A. Growth and yield of maize cultivars affected by NPK application in different proportion. *Pakistani. J Sci*. 2010. Vol. 4. P. 211–216.
5. Barlog P., Frackowiak-Pawlak K. Effect of mineral fertilization on yield of maize cultivars differing in maturity scale. *Acta Scientiarum Polonorum. Agricultura*. 2008. T. 7. № 4. S. 5–17
6. Barson G., Sopterean L., Suciu L. A., Crisan I., Duda M. M. Evaluation of Agronomic Performance of Maize (*Zea mays* L.) under a Fertilization Gradient in Transylvanian Plain. *Agriculture*. 2021. Vol. 11. 896.
7. Basso B., Cammarano, D., Carfagna, E. Review of Crop Yield Forecasting Methods and Early Warning Systems. In *Proceedings of the First Meeting of the Scientific Advisory Committee of the Global Strategy to Improve Agricultural and Rural Statistics*. Rome, 2013. P. 15–31.
8. Bender R. R., Haegerle J. W., Ruffo M. L., Below F. E. 2013. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern, transgenic insect-protected maize hybrids. *Agron J*. 2013. Vol. 105. P. 161–170. doi.org/10.2134/agronj2012.0352

9. Bertin P., Gallais A. Physiological and genetic basis of nitrogen use efficiency in maize. I. Agrophysiological results. *Maydica*. 2000. Vol. 45. P. 53–66.
10. Bhatt P. Response of sweet corn hybrid to varying plant densities and nitrogen levels. *African Journal of Agricultural research*. 2012. No. 7 (46), 6158–6166
11. Bogucka B., Szempliński W., Wrońbel E. Effect of nitrogen fertilization on the yield of grain maize grown under climate conditions of north-eastern Poland. *Acta Sci. Pol. Agricultura*. 2008. Vol. 7(3). P. 21–30.
12. Bojtor C., Mousavi S. M. N., Illés Á., Golzardi F., Széles A., Szabó A., Nagy, J., Marton, C. L. Nutrient composition analysis of maize hybrids affected by different nitrogen fertilisation systems. *Plants*. 2022. Vol. 11. 1593.
13. Calviño P. A., Andrade F. A., Sadras V. O. Maize Yield as Affected by Water Availability, Soil Depth, and Crop Management. *Agronomy Journal*. 2003. Vol. 95. P. 275–281.
14. Çarpici E. B., Çelik N., Bayram G. Yield and quality of forage maize as influenced by plant density and nitrogen rate. *Turkish Journal of Field Crops*. 2010. № 15(2). P. 128–132.
15. Çarpici E. B., Çelik N., Bayram G. Yield and quality of forage maize as influenced by plant density and nitrogen rate. *Turkish Journal of Field Crops*. 2010. № 15(2). P. 128–132.
16. Carthy N. Understanding agricultural households' adaptation to climate change and implications for mitigation: land management and investment options. *Integrated Surveys on Agriculture*. Washington D. C., USA: LEAD Analytics Inc. 2011. P. 42–47.
17. Coque M., Gallais A. Genetic Variation for Nitrogen Remobilization and Postsilking Nitrogen Uptake in Maize Recombinant Inbred Lines: Heritabilities and Correlations among Traits. *Crop Science*. 2007. Vol. 47. P. 1787–1796.
18. Deb P., Shrestha S., Babel M. S. Forecasting Climate Change Impacts and

Evaluation of Adaptation Options for Maize Cropping in the Hilly Terrain of Himalayas: Sikkim, India. *Theoretical and Applied Climatology*. 2015. Vol. 121. P. 649–667.

19. Djalovic I., Riaz M., Akhtar K., Bekavac G., Paunovic A., Pejanovic V., Zaheer S., Prasad P. V. V. Yield and Grain Quality of Divergent Maize Cultivars under Inorganic N Fertilizer Regimes and Zn Application Depend on Climatic Conditions in Calcareous Soil. *Agronomy*. 2022. Vol. 12(11). 2705.
20. Endang S. D., Meitry T. Study of increasing NPK uptake on growth and yield of corn with a combination of inorganic compound fertilizers and various organic fertilizers'. *Jurnal AgroPet*. 2014. Vol. 11(1). P. 16–24.
21. Fauziah L., Anggraeni L., Latifah E. Increased yield and quality of corn by inorganic fertilizers and utilization of corn as food to support food security. 2021. doi:10.1088/1755–1315/1253/1/012129
22. Firmansyah, I., Muhammad Syakir and Liferdi Lukman. Effect of Combination of N, P, and K Fertilizer Doses on Growth and Yield of Eggplant (*Solanum melongena* L.). *J. Hort*. 2017. Vol. 27 (1). P. 69–78.
23. 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.
24. Gu H., Li J., Lu Z. et al. Effects of combined application of nitrogen and potassium on oil concentration and fatty acid component of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Field Crops Res*. 2024, 306, 109229.
25. Guan D. X., Menezes-Blackburn D., Li G. The Importance of Mineral Elements for Sustainable Crop Production. *Agronomy*. 2024. Vol. 14, № 1. P. 209.
26. Guan D. X., Menezes-Blackburn D., Li G. The Importance of Mineral Elements for Sustainable Crop Production. *Agronomy*. 2024. Vol. 14, № . 1. P. 209. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy14010209>.
27. Hafez E. M., Abdelaal K. A. Impact of nitrogen fertilization levels on

- morphophysiological characters and yield quality of some maize hybrids (*Zea mays* L.). Egypt. J. Agron. 2015. Vol. 37. P. 35–48.
28. Halvin J., Kissel D., Claassen M., Long J. Crop rotation and tillage effectson. soil organic C and N. Manhattan. Conservation tillage research. 1990. P. 65–68.
 29. Hussain I. Effect of N and S on growth, yield and quality of hybrid maize (*Zea mays* L.). M. Sc. (Hons) Thesis. University of Agriculture, Department of Agronomy, Faisalabad, Pakistan. 1998. P. 118–124.
 30. Jańczak-Pieniążek M., Buczek J., BobreckaJamro D. et al. Morphophysiology, productivity and quality of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) cv. Merlin in response to row spacing and seeding systems. Agronomy. 2021. № 11(2). 403.
 31. Jarell, W. M., Beverly R. B. . The dilution effect in plant nutrition studies. Advances in Agronomy. 1981. № 34. P. 197–224.
 32. Josipović M. et al. Effect of irrigation, N fertilization and genotype to starch content in maize grain. Subject to the CABI Digital Library Terms & Conditions, available. P. 71–76.
 33. Kaplan M., Kale H., Karaman K., Ünlükara A. L. İ. Influence of different irrigation and nitrogen levels on crude oil and fatty acid composition of maize (*Zea mays* L.). Grasas Aceites. 2017. Vol. 68. e207.
 34. Khavkhun A. The impact of mineral fertilisers on the physicochemical properties of soil in maize cultivation. Plant and Soil Science. 2024. Vol. 15(3). P. 44–53.
 35. Kierzek R., Dubas M., Matysiak K. Effect of biostimulator Aminoplant mixtures with terbuthylazine andbromoxynil (Zeagran 340 SE) on herbicidal effect and yield of maize. Prog. Plant Prot. 2015. Vol. 55(2). P. 164–169.
 36. Kruczek A. Wpływ dawek azotu i sposobów stosowania nawozów azotowych i nawozu wieloskładnikowego na plonowanie kukurydzy. *Pamiętnik Puławski*. 2005. T. 140. P. 129–138.
 37. Liimatainen A., Sairanen A., Jaakkola S., Kokkonen T., Kuoppala K.,

- Jokiniemi T., Mäkelä P.S.A. Yield, Quality and Nitrogen Use of Forage Maize under Different Nitrogen Application Rates in Two Boreal Locations. *Agronomy*. 2022. № 12(4). P. 887.
38. Maleki A., Fazel S., Naseri R., Rezaei K., Heydari M. The effect of potassium and zinc sulfate application on grain yield of maize under drought stress conditions. *Advances in Environmental Biology*. 2014. P. 890–894.
 39. Malik M. A., Cheema M. A., Saleem M. F.. Production efficiency of canola (*Brassica napus* L.) as affected by different NPK levels. *Pakistan Journal of Agricultural Science*. 2002. Vol. 39. P. 278–280.
 40. Maqsood M., Ali R., Nawaz N., Yousaf N. The effect of NPK application in different proportions on the growth and yield of spring maize. *Pakistan Journal of Biological Science*. 2000. Vol. 3. P. 356–357.
 41. Marchenko T. Yu. Innovative elements of cultivation technology of corn hybrids of different FAO groups in the conditions of irrigation. *Natural sciences and modern technological solutions: knowledge integration in the XXI century: collective monograph*. Lviv; Torun : Liha-Pres, 2019. P. 137–153.
 42. Milani N., McLaughlin M. J., Stacey S. P. et al. Dissolution kinetics of macronutrient fertilizers coated with manufactured zinc oxide nanoparticles. *J. Agric. Food Chem*. 2012. Vol. 25. P. 3991–3998.
 43. Mostipan M. I., Vasylovskaya K. V., Andriyenko O. O. Reznichenko V. P. Modern aspects of tilled crops productivity forecasting. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2017. № 53 (3). P. 35–40.
 44. Niewęglowski M., Sikorska A., Gugala M., Krasnodebska E., Zarzecka K. The effect of nitrogen fertilization and the use of biostimulators on the chemical composition of grains of two varieties of corn (*Zea mays* L.). *PLoS ONE*. 2024. Vol. 19(12). P. 311–326.
 45. Nilahyane A., Islam M. A., Mesbah A. O., Garcia A. Effect of Irrigation and Nitrogen Fertilization Strategies on Silage Corn Grown in Semi-Arid

Conditions. *Agronomy*. 2018. № 8. P. 208.

46. Ogola J. B. O., Wheeler T. R., Harris P. M. Effects of nitrogen and irrigation on water use of maize crops. *Field Crops Research*. 2002. Vol. 78. P. 105–117.
47. Oktem A. G., Emeklier, H. Y. Effect of Nitrogen on Yield and Some QualityParameters of Sweet Corn. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2010. Vol. 41, Issue 7. P. 832–847.
48. Onychko V. I., Naumov Y. O., Senyk I. I. Yield of corn per grain depending on the forms and norms of nitrogen fertilizer application in the conditions of northeastern Ukraine. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Agronomy and Biology*. 2023. Vol. 52(2). P. 72–77.
49. Pasley H. R., Cairns J. E., Camberto J. J., Vyn T. J. Nitrogen fertilizer rate increases plant uptake and soil availability of essential nutrients in continuous maize production in Kenya and Zimbabwe. *Nutr. Cycling Agroecosyst*. 2019. Vol. 115. P. 373–389.
50. Pusparini P. G., Yunus A., Harjok D. Dosage of NPK Fertilizer on Growthand Yield of Hybrid Corn. *J. Agrosience*. 2018. Vol. 20 (2). P. 28.
51. Rahman B. International trade of corn commodities. *IndonesianCorn Economy*. Jakarta (ID): Agricultural Research and Development Agency. 2003. P.197–209.
52. Randal G. W., Vetsch J. A., Huffman J. R. Nitrate losses in subsurface drainage from a corn–soybean rotation as affected by time of nitrogen application and use of nitrapyrin. *J. Environ. Qual*. 2003. Vol. 32. P. 1764–1772.
53. Ray K., Banerjee H., Dutta S. et al. Macronutrients influence yield and oil quality of hybrid maize (*Zea mays* L.). *PLoS ONE*. 2019. Vol. 14. e0216939.
54. Rehman A., Farrukh M., Ehsan M. Grain quality, nutrient use efficiency, and bioeconomics of maize under different sowing methods and NPK levels. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 2011. Vol. 71, No. 4. P. 586–593.
55. Rezaeian M., Rahimi Petroudid E., Mohsenic M., Hossein Haddadid M.

- Effects of row spacing, nitrogen and potassium fertilizer on yield of silage corn after wheat harvesting. International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences. 2014. Vol 4. Is. 3. P. 358–361.
56. Saracoglu K., Saracoglu B., Fidan V. Influence of Integrated Nutrients on Growth, Yield and Quality of Maize. American Journal of Plant Sciences. Vol. 2, no 1. 2011. 63–69.
 57. Šarčević-Todosijević L., Živanović L., Popović V. et al. Effects of quantity of nitrogen on maize yield. Book of Proceedings. Green Room Sessions. International GEA (Geo Eco-Eco Agro). Conference. 2018. P. 45–52.
 58. Shkatula Y., Matsera O., Zabarna T. The application of different fertilizers system for the formation of corn (zéa máys) hybrids grain productivity. *Сільське господарство та лісівництво. Рослинництво, сучасний стан та перспективи розвитку*. № 27. 2022. С. 25–40.
 59. Shynkaruk L., Lykhochvor V. Influence of fertilization and foliar feeding on maize grain qualitative indicators. Journal of Ecology. 2021. Vol. 11(4). P. 113–116.
 60. Simic M., Dragičević V., Mladenovic Drinic S. The Contribution of Soil Tillage and Nitrogen Rate to the Quality of Maize Grain. Agronomy. 2020. Vol. 10. P. 976.
 61. Stasiv O., Olifir Y. Formation of Corn Productivity in Crop Rotation Depending on Long-Term Fertilization and Liming. Folia Pomer. Univ. Technol. Stetin., Agric., Aliment., Pisc., Zootech. 2021. Vol. 358(57)1. P. 29–40.
 62. Subhan N., Gunadi N. 'Response of tomato plants to the use of compound fertilizer NPK 15-15-15 on latosol soil in the dry season'. J. Hort. 2009. Vol. 19 (1). P. 40–48.
 63. Sulewska H., Ptaszyńska G. Influence of harvest date on content and yield of protein of six maize hybrids. Fragmenta Agronomica. 2008. Vol. (97). 391. P. 112–120.
 64. Suratmini P. Combination of urea fertilization and organic fertilizer on sweet

- corn indry land. Food Crops Research. 2009. Vol. 28(2). P. 99–110.
65. Swastika DKS, Agustian A, Sudaryanto T. Analysis of the gap in supply and demandfor corn forage with a synchronization approach to production centers, feed mills andlivestock populations in Indonesia. Agricultural Informatics. 2011. Vol. 20 (2). P. 65–75.
 66. Sylvester-Bradley, R., Roques, S., Baxter, C., Kendall, S. Nutrient harvests: the essential yardstick to transform crop nutrition. Presented at the IFS conference in Cambridge, UK, 8th December 2022. Proceedings 874, International Fertiliser Society, UK.
 67. Szulc P., Bocianowski J., Kruczek A. et al. Response of Two Cultivar Types of Maize (*Zea mays* L.) Expressed in Protein Content and Its Yield to Varied Soil Resources of N and Mg and a Form of Nitrogen Fertilizer. Pol. J. Environ. Stud. 2013. Vol. 22, No. 6. 1845–1853.
 68. Tanga et al. Performance of black soldier fly frass fertilizer on maize growth yield nutritional quality and economic returns. Journal of Insects as Food and Feed. 2021. P. 215–221.
 69. Tariq M., Nelson J. M., Gartner J. A. Interactive effect of nitrogen and phosphorus on dry matter weight, root growth, nutrient concentration and grain yield of corn. Pakistan Journal of Soil Science. 1999. Vol. 9. P. 74–79.
 70. Tremblay N., Bouroubi Y., Bélec C., Mullen R., Kitchen N., Thomason W. Corn response to nitrogen is influenced by soil texture and weather. Agron. J. 2012. Vol. 104. P. 1658–1671.
 71. Tuberkih E., Sipahutar I.A. Effect of NPK compound fertilizer (16-16-15) on growth andyield of corn (*Zea mays*) in Inceptisols soil. Bogor Soil Research Institute. 2008. Vol. 10–11. P. 35–42.
 72. Türk M., Alagöz M. The effect of nitrogen fertilizer on the yield and quality in the sweet maize. Scientific Papers. Series A. Agronomy. 2018. Vol. LXI, No. 1. P. 408–411.
 73. Veremeenko S., Furmanets O., Vozniuk N., Oliinyk O. The effect of the application of liquid complex fertilizers and mixtures based on them on the

- productivity of corn in the conditions of the Western Polissia. *Scientific Horizons*. 2023. Vol. 26(4). 97–107.
74. Videnović Ž., Simić M., Srdić J., Dumanović Z. Long term effects of different soil tillage systems on maize (*Zea mays* L.) yields. *Plant, Soil and Environment*. 2011. Vol. 57 (4). 186–192.
 75. Videnović Ž., Simić M., Srdić J., Dumanović, Z. Long term effects of different soil tillage systems on maize (*Zea mays* L.) yields. *Plant, Soil and Environment*. 2011. Vol. 57 (4). P. 186–192.
 76. Wang W., Dong X., Lu Y. et al. Soil Water Balance and Water Use Efficiency of Rain-Fed Maize under a Cool Temperate Climate as Modeled by the AquaCrop. Paper Presented at the MATEC Web of Conferences. 2018. P. 47–51.
 77. Yang J. Y., Huffman, E. C., Jong, R. D. Residual soil nitrogen in soil landscapes of Canada as affected by land use practices and agricultural policy scenarios. *Land Use Policy*. 2007. Vol. 24. P. 89–99.
 78. Zubachtirodin, Pabbage MS, Production area and potential for corn development. In: Sumarno, Suyanto, Widjono A, Hermanto, Kasim H, editors. *Corn: Production and Development Techniques*. Bogor (ID): Center for Food Crops Research. Subandi. 2007.
 79. Адаптація агротехнологій до зміни клімату: ґрунтово-агрохімічні аспекти / за ред. С. А. Балюка, В. В. Медведєва, Б. С. Носка. Харків: Стильна типографія. 2018. 364 с.
 80. Азуркін В. О., Поліщук І. С., Мазур В. А. Продуктивність гібридів кукурудзи залежно від густоти стояння для виробництва біоетанолу. *Зб. наук. пр. Вінницького нац. аграр. ун-ту. Сер.: Сільськогосподарські науки*. 2011. Вип. 8 (48). С. 27–30.
 81. Асанішвілі Н. М. Ефективність елементів технології вирощування кукурудзи в умовах північної частини Лісостепу. *Збірник наукових праць Національного наукового центру Інститут землеробства НААН*. 2013. № 3–4. С. 68–74.

82. Асанішвілі Н. М. Оптимізація мінерального живлення гібридів кукурудзи на основі рослинної діагностики. *Рослинництво та ґрунтознавство*. 2020. № 11(3). 22–32.
83. Багатченко В. В., Таганцова М. М., Стефківська Ю. Л. Вплив густоти стояння рослин кукурудзи на насіннєву продуктивність батьківських компонентів гібридів *Zea mays* L. *Наукові праці інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2018. Вип. 26. С. 56–66.
84. Балабух В. О. Вплив зміни клімату на формування урожайності кукурудзи в агрокліматичних зонах України. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2019. № 3. С. 103–104.
85. Броннікова Л. Ф. Формування азотного поживного режиму ґрунту при вирощуванні кукурудзи на зерно. *Агрохімія та сучасні напрями застосування добрив і біолого-активних речовин*. 2018. № 8. С. 53–61.
86. Броннікова Л. Ф. Формування азотного поживного режиму ґрунту при вирощуванні кукурудзи на зерно. *Сільське господарство та лісівництво*. 2018. № 1(8). С. 50–59.
87. Вожегова Р. А., Белов Я. В. Вплив густоти стояння рослин та фону живлення на водоспоживання та продуктивність гібридів кукурудзи в умовах зрошення півдня України. *Міжвідомчий тематичний науковий збірник «Зрошуване землеробство»*. 2019. Вип. 72. С. 4–7.
88. Вожегова Р. А., Белов Я. В. Динаміка накопичення надземної біомаси гібридами кукурудзи залежно від густоти стояння рослин та удобрення за вирощування в умовах зрошення. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2019. Вип. 109. Ч. 1. С. 3–9.
89. Вожегова Р. А., Белов Я. В. Удосконалення технології вирощування гібридів в умовах зрошення півдня України. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2019. Вип. 2. С. 41–47.
90. Вожегова Р. А., Влащук А. М., Дробіт О. С. Продуктивність і економічна ефективність вирощування гібридів кукурудзи різних груп стиглості. *Вісник аграрної науки*. 2018. Вип. 7. С. 18–26.

91. Волощук О. П., Стасів О. Ф., Глива В. В. та інш. Продуктивність гібридів кукурудзи залежно від різних норм внесення мінеральних добрив у західному Лісостепу України. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2020. Вип. 68 (I). С. 51–66.
92. Гень С. П. Урожайність зерна кукурудзи залежно від систем удобрення і обробітку ґрунту. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони*. 2011. № 1. С. 117–121.
93. Гетман Н. Я. Формування врожаю кукурудзи залежно від густоти стояння рослин за мінерального фону живлення. *Сільське господарство та лісівництво*. 2024. № 2 (33). С. 55–65.
94. Гладкіх Є. Ю. Агроекологічні аспекти застосування мінеральних добрив у сільськогосподарському виробництві. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2015. Вип. 83. С. 36–41.
95. Говенько Р. В. Вплив технологічних прийомів вирощування на формування елементів структури врожаю гібридів кукурудзи. *Агробіологія*. 2022. № 2. С. 68–78.
96. Городній М. М. Агрохімія: підручник. Київ: ТОВ «Арістей». 2008. 935с
97. Господаренко Г. М. Практикум з агрохімії. Київ : ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2020. 148 с.
98. Господаренко Г. М. Розробка та обґрунтування інтегрованої системи удобрення в польовій сівозміні на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу України. Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра с.-г. наук. К., 2001. 42 с.
99. Господаренко Г. М. Система застосування добрив. Київ : ТОВ «ТРОПЕА», 2022. 376 с.
100. Господаренко Г. М. Удобрення сільськогосподарських культур. Київ : «СІК ГРУП Україна», 2016. 276 с.
101. Господаренко Г. М. Система застосування добрив: навч. посібник. Київ: ТОВ СІК ГРУП Україна. 2015. 332 с.
102. Господаренко Г. М., Любич В. В., Бурляй О. Л., Притуляк Р. М.

Агрохімічні властивості чорнозему опідзоленого за різних доз азотних добрив і їх поєднання з іншими видами мінеральних добрив. *Аграрні інновації*. 2022. № 14. С. 18–22.

103. Господаренко Г. М., Черно О. Д. Урожай зерна кукурудзи залежно від норм і систем удобрення. Тези доп. Всеукр. н.-п. конф. «Проблеми збалансованого ведення землеробства в сучасних господарсько-економічних умовах». Рівне: О. Зень, 2016. С. 120–122.
104. Господаренко Г., Стоцький В. Формування врожаю кукурудзи за різного удобрення в польовій сівозміні. *Матеріали Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. «Рубіновські читання»* (16 травня 2023 р., Умань). Умань : Редакційно-видавничий відділ Уманського НУС, 2023. С. 19–20.
105. Господаренко Г., Стоцький В., Кулеша А. Урожайність кукурудзи залежно від видів мінеральних добрив і їх поєднань у польовій сівозміні. *Матер. Всеукр. наук.-практ. конф. «Рубіновські читання» приуроченої до 180-річчя від дня заснування Уманського національного університету садівництва* (16 травня, м. Умань). Умань : УНУС, 2024. С. 7–8.
106. Діагностика збалансованості мінерального живлення польових культур. Науково-методичні рекомендації; за наук. ред. М. М. Мірошніченка, Є. Ю. Гладкіх. Харків, 2022. 47 с
107. Дідур І. М., Богомаз С. О. Сучасний стан і перспективи вирощування кукурудзи в Україні. *Сільське господарство та лісівництво*. 2023. № (29). С. 153–161.
108. ДСТУ 4117:2007. Визначення показників якості методом інфрачервоної спектроскопії. [Чинний від 2007-08-09]. Київ, 2007. 7 с. (Національний стандарт України).
109. Дудка М. І., Якунін О. П., Ковтун О. В., Гладкий О. В. Формування врожайності зерна кукурудзи залежно від макро- та мікродобрив. *Зернові культури*. 2021. Том 5. № 1. С. 45–51.

110. Дудка М. І., Якунін О. П., Пустовий С. І. Агроекономічна ефективність вирощування зерна кукурудзи залежно від фону удобрення та позакореневого підживлення. *Зернові культури*. Т. 4. № 2. 2020. С. 313–318.
111. Дудка М., Черчель В. Позакореневе підживлення кукурудзи: необхідність чи альтернатива. *Пропозиція*. 2017. № 5. С. 55.
112. Єгоршин О. О., Лісовий М. В. Планування і математична обробка багатфакторних дослідів. Харків : КП «Друкарня № 13», 2009. 32 с.
113. Єгоршин О. О., Лісовий М. В., Доценко О. В. Вибір оптимальних варіантів удобрення польового досліду за різними показниками. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2012. Вип. 77. С. 27–30.
114. Єрмакова Л. М., Крестьянінов С. В. Урожайність кукурудзи залежно від удобрення та гібриду на темно-сірих опідзолених ґрунтах. *Вісник ПДАА*. 2016. № 4. С. 63–65.
115. Єщенко В. О., Копитко П. Г., Костоґриз П. В., Опришко В. П. Основи наукових досліджень; за ред. В. О. Єщенка. Вінниця : ПП «ТД «Едельвейс і К», 2014. 332 с.
116. Жемела Г. П., Бараболя О. В., Ляшенко В. В. та ін. Формування продуктивності зерна гібридами кукурудзи залежно від норми висіву. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2021. № 1. С. 97–105.
117. Жолобецький Г. Десикація кукурудзи – комерційне нав'язування чи технологічна потреба? *Пропозиція*. 2014. № 10. С. 84–87.
118. Заболотний О. І. Біологічні процеси в рослинах і ґрунті та продуктивність кукурудзи при застосуванні гербіциду Базис 75, Зеастимуліну і Рексоліну в умовах Правобережного Лісостепу України: автореф. на здобуття вченого ступеня канд. с.-г. наук за спеціальністю: 03.00.12. «Фізіологія рослин» Умань, 2007. 24 с.
119. Заставний Ф. Д. Географія України. У 2-х кн. / Ред. М. П. Парцей. Львів: Світ. 1994. 472 с.
120. Іванишин О. С. Показники структури урожаю зерна кукурудзи залежно

від гібриду, норми добрив та мікродобрива в умовах Лісостепу Західного. *«Молодий вчений»*. 2021. № 3 (91). С. 15–19.

121. Камінська О. В. Токсикогенні мікроміцети роду *Fusarium*, біологічне обґрунтування заходів обмеження накопичення їх вторинних метаболітів у пшениці озимій та кукурудзи в правобережному Лісостепу України: автор. дис. канд. с.-г. н. : 06.01.11. Київ, 2020. 146 с.
122. Камінський 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.
123. Кінніченко К. С., Щербакова В. А. Кукурудза. Харків. «ФАУкрінформ», 2018. 192 с. Кохан А. В., Глущенко Л. Д., Лень О. І. та ін. Продуктивність сортів і гібридів кукурудзи за різних систем удобрення та беззмінного їх вирощування. *Вісник аграрної науки*. 2019. № 10 (799). С. 18–23.
124. Колібабчук Т. В., Кузьменко О. В., Зарва О. І., Любич В. В. Урожайність і якість зерна пшениці м'якої озимої залежно від норми висіву. *Агробіологія*. 2022. № 1. С. 168–178.
125. Котельников Д. Ефективність способів обробітку ґрунту та живлення посівів кукурудзи на півдні України: автореф. на здобуття вченого ступеня канд. с.-г. н за спеціальністю: 06.01.02. «Землеробство» Херсон, 2015. 23 с.
126. Кравець В. Живлення кукурудзи: оптимальний розрахунок. URL:<https://www.growhow.in.ua/zhyvlennya-kukurudzy-optymalnyj-rozrahunok/> (дата звернення: 22.09.2022).
127. Кузьо Н. Що варто знати про фосфор і фосфорні добрива? *Агрономія сьогодні*. 2020. № 5 (420). С. 52–53.
128. Лавриненко Ю. О., Гож О. А. Ріст і розвиток рослин гібридів кукурудзи ФАО 180–430 за впливу регуляторів росту і мікродобрив в умовах зрошення на Півдні України. *Збірник наукових праць «Зрошуване землеробство»*. 2016. № 65. С. 128–131.

129. Лавриненко Ю. О., Коковіхін С. В., Писаренко П. В. Екологічна мінливість показників темпів розвитку рос-лин кукурудзи. *Таврійський науковий вісник*. 2005. Вип. 40. С. 46–55.
130. Лень О., Марініч Л., Орловський О. Maize productivity depends on weather conditions and fertilizer systems. *SWorldJournal*, 2(21–02). 2023. С. 22–29.
131. Лихочвор В. Система удобрення кукурудзи. *Агрономія сьогодні*. 2014. № 8 (279). 42.
132. Лихочвор В. В., Петриченко В. Ф. Фізіологічна роль елементів живлення та системи удобрення польових культур: 3-тє вид., переробл. Львів : Українські технології, 2021. 284 с;
133. Лихочвор В. В., Петриченко В. Ф., Іващук П. В. Зерновиробництво. Львів:НВФ “Українські технології”. 2008. 624 с.
134. Логінова І. Секрети кукурудзяного успіху *Агроіндустрія*. 2019. № 7. С. 22–32.
135. Логінова І. В., Білера Н. М. Ефективність різних форм і способів внесення мікроелементів у технологіях вирощування сільськогосподарських культур. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Агрономія*. 2014. № . 195 (1). С. 71–78.
136. Логінова І., Смик С. Прогнозування ефективності добрив під кукурудзу на зерно за даними ґрунтової діагностики. *Наукові доповіді НУБіП*. 2012. № 3 (32). С. 160.
137. Любич В. В. Продуктивність сортів і ліній пшениць залежно від абіотичних і біотичних чинників. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2017. Вип. 95. С. 146–161.
138. Любич В. В., Господаренко Г. М., Стоцький В. В. Урожайність кукурудзи за різних доз і поєднань мінеральних добрив. *Актуальні питання агротехнологій : матеріали Всеукраїнської науково-*

практичної конференції (м. Умань, 25 жовтня 2022 р.). Умань : УНУС, 2022. С. 42–44.

139. Любич В. В., Невлад В. І., Мартинюк А. Т. Продуктивність тритикале ярого за різних доз азотних добрив. *Агробіологія*. 2022. № 1. С. 152–159.
140. Любич В. В., Полянецька І. О. Оцінювання сортів пшениці твердої озимої за показниками росту та розвитку. *Агробіологія*. 2021. № 1. С. 65–72.
141. Мазур В. А., Циганська О. І., Шевченко Н. В. Висота рослин кукурудзи залежно від технологічних прийомів вирощування. *Сільське господарство та лісівництво*. Рослинництво, сучасний стан та перспективи розвитку. 2018. № 8. С. 5–13.
142. Маслак О. Переваги – за кукурудзою. *Пропозиція*. 2013. № 5(215). С. 32–34.
143. Маткевич В. Т., Коровіна М. О., Коломієць Л. В. та інш. Вплив різних доз мінеральних азотних добрив на формування екологічно чистої продукції при вирощуванні кукурудзи на зерно. *Корми і кормовиробництво*. 2005. № 55. С. 73–79.
144. МВВ 31-497058-019-2005 Рослини. Визначення загальних форм азоту, фосфору, калію в одній наважці рослинного матеріалу. Методики визначення складу та властивостей ґрунтів. Харків : КП «Друкарня № 13», 2005. С. 189–208.
145. 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. Вип. 106. С. 103–109.
146. Молдован В. Г., Молдован Ж. А. Ефективність використання азотних добрив у прикореневому підживленні кукурудзи. *Зернові культури*. 2021. Т. 5. № 2. С. 329–335.
147. Музафаров Н. М., Манько К. М., Музафаров І. М. Урожайність сучасних гібридів кукурудзи залежно від застосування засобів захисту

- рослин та регулятору росту. *Селекція і насінництво*. 2012. Випуск 102. С. 178–185.
148. Надь Я. Кукурудза. Вінниця : ФОП Корзун Д. Ю., 2012. 580 с; Шпаар Д. Кукурудза. Вирощування, збирання, консервування і використання. Київ : Альфа-стевія ЛТД. 2009. 396 с.
 149. Наукові основи ефективності використання виробничих ресурсів у різних моделях технологій вирощування зернових культур: монографія / В. Ф. Камінський, В. Ф. Сайко, М. В. Душко, Н. М. Асанішвілі та ін. Київ : Видавничий дім «Вініченко», 2017. 580 с.
 150. Новак Ж. М., Полянецька І. О., Любич В. В. Порівняльна характеристика тетраплоїдних видів пшениці в Правобережному Лісостепу. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. 2022. № 100. С. 215–224.
 151. Осипчук С. О. Природно-сільськогосподарське районування України. Київ: Урожай, 2008.
 152. 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.
 153. Паламарчук В. Д. Вплив застосування бактеріального добрива «Біомаг» на продуктивність гібридів кукурудзи. *Збірник наукових праць ВНАУ*. 2012. № 63. Вип. 4. С. 14–22.
 154. Паламарчук В. Д., Колісник О. М. Сучасна технологія вирощування кукурудзи для енергоефективного та екологічнобезпечного розвитку сільських територій: монографія. Вінниця: ТОВ Друк, 2022. 372 с.
 155. Пащенко Ю. М., Борисов В. М., Шишкін О. Ю. Адаптивні і ресурсозберіжні технології вирощування гібридів кукурудзи: монографія. Дніпропетровськ: АРТ-ПРЕС, 2009. 224 с.
 156. Пащенко Ю. М., Борисов В. М., Шишкін О. Ю. Адаптивні і ресурсозберіжні технології вирощування гібридів кукурудзи. Дніпропетровськ : АРТ-ПРЕС, 2009. 224 с.

157. Писаренко П. В. та ін. Фотосинтетичний потенціал рослин кукурудзи залежно від умов вирощування. *Миронівський вісник*. 2015. № 1. С. 243–251
158. Пілярська О. О. Вплив умов вологозабезпеченості, фону мінерального живлення та густоти стояння рослин на урожайність ділянок гібридизації кукурудзи в умовах зрошення. Адаптація землеробства до змін клімату – шлях підвищення ефективності функціонування сільського господарства: матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет конференції, м. Херсон, 15 ч. 2013 р. Херсон, 2013. С. 61–62.
159. Полупан М. І., Соловей В. Б., Величко В. А. Класифікація ґрунтів України. Київ : Аграрна наука, 2005.
160. Полупан М. І., Соловей В. Б., Кисіль В. І., Величко В. А. Визначник еколого-генетичного статусу та родючості ґрунтів України. Київ : Колообіг, 2005.
161. Польовий А. М., Божко Л. Ю. Довгострокові агрометеорологічні прогнози. Одеса : Видавництво «ТЕС», 2013.
162. Присташ І. В., Паламарчук С. П., Тютюн О. М., Павлик Р. В. Вплив тривалого застосування добрив на вміст цинку і кадмію у ґрунті та надходження їх у рослини кукурудзи на зерно. *Агроекологічний журнал*. 2008. червень. Спец. вип. С. 198–200.
163. Волощук О. П. Продуктивність гібридів кукурудзи залежно від різних норм внесення мінеральних добрив у західному Лісостепу України. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2020. Вип. 68 (І). С. 51–65.
164. Рибка В., Ляшенко Н., Дудка М. Вирощування кукурудзи в Україні. Яка перспектива? *Агробізнес сьогодні*. 2018. № 10. С. 26–31.
165. Рибка В., Ляшенко Н., Дудка М. Вирощування кукурудзи в Україні. Яка перспектива? Агробізнес сьогодні. URL: <http://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/11994-vyroshchuvannia-kukurudzy-v-ukraini-yaka-perspektyva.html>.

166. Рудавська Н. М., Глива В. В. Формування продуктивності гібридів кукурудзи в умовах Лісостепу західного. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2018. Вип. 64. С. 111–123
167. Рудавська Н. М., Гук Р. М., Вплив удобрення на формування врожаю гібридів кукурудзи. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2017. Вип. 61. С. 123–134.
168. Румбах М. Ю. Продуктивність гібридів кукурудзи різних груп стиглості залежно від густоти рослин та фону мінерального живлення. *Бюлетень Інституту зернового господарства*. 2011. № . 40. С. 110–113.
169. Румбах М. Ю. Продуктивність гібридів кукурудзи різних груп стиглості залежно від густоти рослин та фону мінерального живлення. *Бюлетень Інституту зернового господарства*. 2011. № . 40. С. 110–113.
170. Румбах М. Ю. Шляхи підвищення врожайності зерна гібридів кукурудзи в північній підзоні Степу України. *Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету*. 2009. № 1. С. 44–46.
171. Саблук С. Фунгіцидний захист кукурудзи – нова тенденція з високим потенціалом. *Зелені сторінки: бюлетень компанії "Дюпон"*. 2018. С. 5–6.
172. Саверин І. В., Качмар О. Й., Продуктивність кукурудзи за різних систем удобрення в короткоротаційних сівоzmінах. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2023. Вип. 73 (2) С. 91–109.
173. Савранчук В. В., Семеняка І. М., Андрієнко А. Л. Корисні і ефективні мікроорганізми для ведення стійкого сільського господарства та відновлення довкілля. *Посібник українського хлібороба*. 2011. С. 137–151.
174. Сажки та фузаріоз кукурудзи. *Agroexpert*. 2014. № 8. С. 34–37.
175. Сатановська І. П. Вплив обробки насіння та позакореневих підживлень

на біометричні показники рослин кукурудзи. *Корми і кормовиробництво*. 2013. Вип. 75. С. 62–67.

176. Свидинюк І. М., Асанішвілі Н. М., Величко В. П. Продуктивність гібридів кукурудзи залежно від технологічних факторів у північному Лісостепу. *Землеробство*. 2006. № 78. С. 40–46.
177. Сербенюк Г. А. Особливості формування врожайності гібридів кукурудзи залежно від технологічних прийомів вирощування в умовах Лісостепу: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06. 01. 09. Київ, 2010. 21 с.
178. Стаціонарні польові досліді України. Реєстр атестатів. Київ : Аграрна наука, 2014. 146 с.
179. Стоцький В. Формування врожаю кукурудзи за різних погодних умов та удобрення. *Актуальні питання сучасної аграрної науки : матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції* (м. Умань, 10 грудня 2021 р.). Умань : УНУС, 2021. С. 67–69.
180. Стоцький В. В. Засвоєння основних елементів живлення кукурудзою за різних видів і доз добрив. *Аграрні інновації*. 2024. № 28. С. 104–110.
181. Стоцький В. В. Індивідуальна продуктивність кукурудзи за різних видів і доз добрив. *Таврійський науковий вісник*. 2024. № 140. С. 278–284.
182. Стоцький В. В. Урожайність та якість зерна кукурудзи за різних видів і доз добрив. *Збірник Уманського НУС*. 2024. Вип. 105. С. 312–323.
183. Танчик С. П., Центилю Л. В. Особливості удобрення кукурудзи за її вирощування на чорноземі типовому в Лісостепу України. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2017. № 269. С. 74–83.
184. Таран В. Г. Продуктивність кукурудзи залежно від морфотипу рослин, густоти стояння й удобрення в умовах Правобережного Лісостепу України: дис. ... канд. с.-г. наук : 06.01.09. Київ, 2019. 156 с.
185. Тоцький В. М., Лень О. Продуктивність гібридів кукурудзи залежно від системиудобрення та основного обробітку ґрунту. *Селекція і*

насінництво. 2020. Вип. 117. С. 199–205.

186. Хургин Ю. В., Коржан Н. К., Пашковский А. І., Дяченко В. И. Кукурудза. Житомир: Рута, 2016. 480 с.
187. Циков В. С. та ін. Ефективність застосування макро- і мікродобрих при вирощуванні кукурудзи. *Зернові культури*. 2017. № 1. Т. 1. С. 75–79.
188. Чабан В. І., Клявзо С. П., Подобед О. Ю. Вміст хімічних елементів в рослинах кукурудзи та оцінка мінерального живлення. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України*. 2014. № 7. С. 27–32.
189. Черняхівський О. Сучасне удобрення кукурудзи. URL: <http://agronomy.com.ua/statti/zernovikultury/276suchasneudobrenniakukurudzy.html> (дата звернення: 22.09.2022).
190. Шевченко Н. В. Вплив технологічних прийомів вирощування на продуктивність гібридів кукурудзи для виробництва біоетанолу в умовах Лісостепу правобережного: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 06.01.09. Кам'янець-Подільський, 2018. 20 с.
191. Шинкарук Л. М. Вплив макро- та мікродобрих на врожайність кукурудзи. *Вісник ЛНАУ*. 2021. № 25. С. 162–166.
192. Шпаар Д. Кукурудза. Вирощування, збирання, консервування і використання. Київ : Альфа-стевія ЛТД 2009. 396 с.
193. Шпаар Д. Кукурудза: вирощування, збирання, зберігання і переробка. Київ: Зерно, 2012. 464 с.
194. Штукін М. О., Оничко В. І. Особливості підбору гібридів кукурудзи для умов північно-східного Лісостепу України. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Агрономія і біологія*. 2013. № 11. С. 213–217.
195. Якунін О. П., Храмцов Л. І., Трубілов О. В. Врожайність зерна гібридів кукурудзи залежно від обробітку ґрунту і рівня мінерального живлення. *Таврійський науковий вісник*. 2013. № 84. С. 145–149.

ДОДАТКИ

Додаток А

Акти впровадження



«ПОГОДЖЕНО»

Ректор Уманського національного
університету садівництва

Олена НЕПОЧАТЕНКО

« 06 »

03

2024

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор ГПП

Олександр ЮДИЦЬКИЙ



АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ РОБОТИ

Цим актом стверджується, що результати наукової роботи за темою «Формування продуктивності кукурудзи залежно від удобрення у Правобережному Лісостепу», виконаної в Уманському національному університеті садівництва, впроваджено в технологічному процесі підприємства.

1. **Вид запровадження** – застосування удосконаленої системи удобрення кукурудзи.
2. **Характеристика масштабів впровадження** – розроблену систему удобрення кукурудзи впроваджено на площі 80 га.
3. **Новизна результатів науково-дослідної роботи** – впроваджено науково-обґрунтовану систему удобрення, яка включає внесення азотних добрив у дозі N₈₀.
4. **Економічна ефективність** – 71,4 тис. грн/га у цінах 2024 р.
5. **Соціальний і науково-технічний ефект** – запропонована система удобрення забезпечила стабільніший приріст урожаю зерна. Ресурсоощадне застосування азотних добрив з високим економічним ефектом.

Аспірант кафедри
агрохімії і ґрунтознавства
Уманського національного
університету садівництва

Вадим СТОЦЬКИЙ



«ПОГОДЖЕНО»

Ректор Уманського національного
університету садівництва

Олена НЕПОЧАТЕНКО

« 04 » 03 2025

«ЗАТВЕРДЖУЮ»



Директор ПОП «Соколівка»

Михайло ГОНЧАРУК

« 04 » 03 2025

АКТ

ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ РОБОТИ

Цим актом стверджується, що результати наукової роботи за темою «Формування продуктивності кукурудзи залежно від удобрення у Правобережному Лісостепу», виконаної в Уманському національному університеті садівництва, впроваджено в технологічному процесі підприємства.

1. **Вид запровадження** – застосування удосконаленої системи удобрення кукурудзи.
2. **Характеристика масштабів впровадження** – розроблену систему удобрення кукурудзи впроваджено на площі 110 га.
3. **Новизна результатів науково-дослідної роботи** – впроваджено науково-обґрунтовану систему удобрення, яка включає внесення азотних добрив у дозі N₉₀.
4. **Економічна ефективність** – 68,2 тис. грн/га у цінах 2024 р.
5. **Соціальний і науково-технічний ефект** – запропонована система удобрення забезпечила стабільніший приріст урожаю зерна. Ресурсоощадне застосування азотних добрив з високим економічним ефектом.

Аспірант кафедри
агрохімії і ґрунтознавства
Уманського національного
університету садівництва

Вадим СТОЦЬКИЙ

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Стоцького Вадима Вікторовича

Статті у фахових виданнях України

1. Стоцький В. В. Урожайність та якість зерна кукурудзи за різних видів і доз добрив. *Збірник Уманського НУС*. 2024. Вип. 105. С. 312–323.
2. Стоцький В. В. Індивідуальна продуктивність кукурудзи за різних видів і доз добрив. *Таврійський науковий вісник*. 2024. № 140. С. 278–284.
3. Стоцький В. В. Засвоєння основних елементів живлення кукурудзою за різних видів і доз добрив. *Аграрні інновації*. 2024. № 28. С. 104–110.

Матеріали науково-практичних конференцій

4. Стоцький В. Формування врожаю кукурудзи за різних погодних умов та удобрення. *Актуальні питання сучасної аграрної науки : матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції* (м. Умань, 10 грудня 2021 р.). Умань : УНУС, 2021. С. 67–69.
5. Любич В. В., Господаренко Г. М., Стоцький В. В. Урожайність кукурудзи за різних доз і поєднань мінеральних добрив. *Актуальні питання агротехнологій : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції* (м. Умань, 25 жовтня 2022 р.). Умань : УНУС, 2022. С. 42–44.
6. Господаренко Г., Стоцький В. Формування врожаю кукурудзи за різного удобрення в польовій сівоzmіні. *Матеріали Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. «Рубіновські читання»* (16 травня 2023 р., Умань). Умань : Редакційно-видавничий відділ Уманського НУС, 2023. С. 19–20.
7. Господаренко Г., Стоцький В., Кулеша А. Урожайність кукурудзи залежно від видів мінеральних добрив і їх поєднань у польовій сівоzmіні. *Матер. Всеукр. наук.-практ. конф. «Рубіновські читання» приуроченої до 180-річчя від дня заснування Уманського національного університету садівництва* (16 травня, м. Умань). Умань : УНУС, 2024. С. 7–8.