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

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

СУТИК ОЛЕКСАНДР ВАСИЛЬОВИЧ

УДК 633.15:[631.816.3:631.893:581.133:631.811.1

ДИСЕРТАЦІЯ
ВПЛИВ ПОЗАКОРЕНЕВОГО ПІДЖИВЛЕННЯ МІКРОЕЛЕМЕНТАМИ НА ЗАСВОЄННЯ АЗОТУ КУКУРУДЗОЮ 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 _____ Олександр СУТИК

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

Умань – 2026

АНОТАЦІЯ

Сутик О. В. Вплив позакореневого підживлення мікроелементами на засвоєння азоту кукурудзою 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, 2026.

У дисертації визначено формування показників продуктивності кукурудзи за різних видів і доз добрив, позакореневого підживлення мікродобривом з урахуванням сучасних змін погодних умов. Встановлено параметри господарського, відносного винесення мінеральних елементів живлення, баланс основних елементів живлення за різного удобрення та погодних умов.

Визначено формування показників продуктивності кукурудзи за різних способів внесення добрив у чотирипільній сівозміні з урахуванням сучасних змін погодних умов. Визначено SPAD-індекс, рівень стресового стану та азотно-флавоноїдний індекс за допомогою портативних приладів у польових умовах. Підтверджено достовірний вплив основного внесення добрив і позакореневого підживлення препаратом Брексіл™ Мікс на параметри фізіологічного стану рослин. Встановлено параметри господарського, відносного винесення елементів живлення (азот, фосфор, калій, магній, сірка, манган, цинк) та баланс основних елементів живлення в ґрунті.

Висота рослин кукурудзи найбільше змінювалась від застосування добрив, ніж від позакореневого підживлення мікродобривами. Так, на ділянках без добрив висота рослин була 266–290 см і зростала до 271–297 см на азотних системах удобрення залежно від року проведення

дослідження. Застосування повного мінерального добрива підвищувало рослини кукурудзи до 281–302 см. Найменше на цей показник впливало застосування фосфорних і калійних добрив.

Застосування добрив з азотною складовою достовірно підвищувало вміст хлорофілу в листках кукурудзи упродовж усіх років досліджень. У середньому за три роки досліджень вміст хлорофілу зростав від 45,0 до 52,3 % залежно від варіанту досліду або на 16 % без застосування позакореневого підживлення. Застосування препарату Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га підвищувало вміст хлорофілу до 45,6–54,4 % або на 1–3 % порівняно з ділянками без позакореневого підживлення. За умови дворазового застосування цього препарату цей показник зростав до 46,3–53,9 % або на 2–3 % порівняно з ділянками без позакореневого підживлення, проте був на рівні ділянок з одноразовим застосуванням Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га.

Рівень стресу рослин мало змінювався порівняно з ділянками, де застосовували добрива. Крім цього, цей показник був майже на однаковому рівні впродовж років досліджень. Достовірно зростав азотно-флавоноїдний індекс листків кукурудзи за внесення добрив з азотною складовою та позакореневими підживленнями. Так, на тлі внесення лише повного мінерального добрива азотно-флавоноїдний індекс зростав до 1,90–2,17 од. п. або на 28–46 % порівняно з контрольним варіантом. Одноразове позакореневе підживлення забезпечувало формування азотно-флавоноїдного індексу до 2,00–2,53 од. п. проти 1,59 од. п. на контролі. За умови дворазового позакореневого підживлення азотно-флавоноїдний індекс зростав від 1,61 до 2,35–2,68 од. п.

Урожайність зерна кукурудзи найбільше збільшувалась від застосування повного мінерального добрива. Так, у середньому за три роки досліджень урожайність підвищувалась від 11,60 до 14,30–15,83 т/га без позакореневого підживлення або на 26–36 %. При цьому на фосфорно-калійній системі врожайність збільшувалась до 14,04 т/га або на 4 % порівняно з контролем. Застосування повного мінерального добрива

збільшувало врожайність на 1–5 % порівняно з азотними системами удобрення.

Застосування препарату Брексіл™ Мікс одноразово та дворазово достовірно не збільшувало врожайності зерна кукурудзи. Так, урожайність збільшувалась до 11,75–16,10 т/га залежно від варіанту досліду або на 1–2 % порівняно з ділянками без позакореневого підживлення. При цьому описана тенденція зберігалась упродовж років проведення досліджень.

Вміст білка в зерні найбільше зростав від застосування азотних добрив. Так, вміст білка зростав від 6,7 до 8,2–9,0 % за внесення повного мінерального добрива. При цьому на фосфорно-калійній системі вміст білка був на рівні 6,5 %. Вміст білка коливався за роки проведення досліджень. У 2024 р. цей показник змінювався від 6,3 до 10,2 %, у 2023 р. – від 7,4 до 9,4, а в 2025 р. – від 6,5 до 7,5 % залежно від варіанту досліду.

Необхідно відзначити, що позакореневі підживлення препаратом Брексіл™ Мікс не впливали на вміст білка в зерні кукурудзи упродовж усіх років досліджень.

Вміст азоту в зерні кукурудзи становить 1,02–1,23 %, калію – 0,28–0,36, фосфору – 0,18–0,24 %, магнію – 1110–1210 мг/кг, сірки – 903–851, мангану – 4,8–5,3, цинку – 11,0–13,6 мг/кг залежно від погодних умов на неудобрених ділянках. За внесення мінеральних добрив із азотною складовою ці показники становили відповідно – азоту – 1,18–1,70 %, калію – 0,28–0,33, фосфору – 0,18–0,23 %, магнію – 1080–1140 мг/кг, сірки – 1087–1296, мангану – 4,1–6,7, цинку – 10,2–13,1 мг/кг.

Вміст азоту в стеблах кукурудзи становить 0,23–0,27 %, калію – 1,13–1,18, фосфору – 0,11–0,14 %, магнію – 1352–1498 мг/кг, сірки – 201–225, мангану – 24,3–28,6, цинку – 4,2–5,1 мг/кг залежно від погодних умов на неудобрених ділянках. За внесення мінеральних добрив із азотною складовою ці показники становили відповідно – азоту – 0,50–0,91 %, калію – 1,19–2,02, фосфору – 0,11–0,17 %, магнію – 2556–2941 мг/кг, сірки – 528–966, мангану – 31,5–59,1, цинку – 4,5–5,5 мг/кг.

Проведені дослідження показали, що особливості накопичення, розподілу та господарського винесення елементів живлення кукурудзою визначалися насамперед системою основного мінерального удобрення, погодними умовами року та характером взаємодії між окремими елементами. Позакореневе застосування Брексіл™ Мікс виконувало переважно коригувальну функцію, а його ефективність залежала від фонового забезпечення рослин елементами живлення. Вплив препарату був більш вираженим для магнію, цинку та мангану, менш стабільним – для калію, фосфору й сірки, і мінімальним щодо концентрації азоту в зерні.

Азотне живлення було визначальним чинником формування вмісту азоту та сірки, а також значною мірою впливало на накопичення магнію, цинку й мангану у вегетативній масі. Підвищення дози азоту до N_{160} збільшувало врожайність і біомасу рослин, унаслідок чого зростало господарське винесення більшості досліджуваних елементів навіть без їх безпосереднього внесення. Це свідчить про посилене використання ґрунтових запасів поживних речовин за інтенсивного азотного живлення та необхідність збалансованого удобрення.

Повне мінеральне удобрення $N_{160}P_{60}K_{110}$ переважно забезпечувало найвище загальне господарське винесення азоту, калію, фосфору, магнію та сірки. Такий результат був зумовлений поєднанням вищої продуктивності посіву, значної маси стебел і кращого забезпечення рослин основними елементами живлення. Водночас максимальні концентрації окремих мікроелементів не завжди формувалися на повному NPK-фоні, що вказує на складні синергічні й антагоністичні взаємодії між елементами та на можливий ефект розбавлення за зростання врожаю.

Розподіл елементів між зерном і стеблами мав чіткі видові особливості. Азот, фосфор, сірка та цинк у більшій концентрації накопичувалися в зерні, хоча за високого рівня живлення частка їх винесення стеблами істотно зростала. Калій, магній і манган переважно зосереджувалися у вегетативній масі. Особливо виразним це було для

калію та мангану, господарське винесення яких стеблами у декілька разів перевищувало винесення зерном. Отже, спосіб використання побічної продукції є важливим чинником балансу елементів у системі удобрення кукурудзи.

Залишення стебел на полі мало найбільше значення для повернення калію, магнію та мангану, оскільки основна частина цих елементів накопичувалася у вегетативній масі. За збирання лише зерна внесення K_{55}–K_{110} і P_{60}– P_{60} забезпечувало додатний баланс калію та фосфору. На фонах без відповідних добрив баланс залишався від'ємним, а підвищення рівня азотного живлення посилювало дефіцит унаслідок інтенсивнішого використання ґрунтових запасів. Баланс азоту був від'ємним у всіх досліджуваних варіантах, що вказує на значне винесення азоту врожаєм і необхідність урахування всіх джерел його надходження та втрат у системі удобрення.

Позакореневе застосування Брексіл™ Мікс неоднаково впливало на досліджувані елементи. Для азоту чіткої сталої зміни концентрації в зерні не встановлено. Для калію та фосфору препарат переважно підвищував уміст у зерні й господарське винесення, однак дворазове застосування не завжди мало перевагу над одноразовим. Найвиразніший і найпослідовніший ефект спостерігався для магнію та мангану, особливо щодо їх накопичення у стеблах і загального винесення. Для сірки реакція залежала від азотного фону, а для цинку була найбільш контрастною: на контролі, азотних і фосфорно-калійному фонах уміст цинку в зерні зростав, тоді як на комплексних NPK-фонах переважно знижувався.

Дворазове застосування Брексіл™ Мікс найчастіше перевищувало одноразове за показниками накопичення магнію, цинку та мангану у стеблах і за їх загальним господарським винесенням. Для макроелементів така перевага була менш стабільною й залежала від року та фону мінерального живлення. Отже, збільшення кратності позакореневого підживлення не можна розглядати як універсальний чинник підвищення засвоєння всіх елементів; його доцільність має визначатися вихідним

рівнем мінерального живлення та цільовим елементом.

Відмінності показників за роками досліджень підтвердили істотну роль погодних умов у доступності елементів, їх поглинанні, перерозподілі між органами та винесенні врожаєм. Найбільші відмінності між роками спостерігалися для вмісту калію, магнію, цинку та мангану, а також для господарського винесення елементів стебловою масою. Це свідчить про необхідність оцінювати ефективність систем удобрення не за одним роком, а за багаторічними результатами.

Отже, найвищий рівень використання більшості елементів у формуванні врожаю забезпечувався за достатнього азотного живлення та збалансованого забезпечення рослин фосфором і калієм. Позакореневе застосування Брексіл™ Мікс доповнювало основну систему удобрення, але не замінювало її. Для підтримання родючості ґрунту та стабільного мінерального живлення кукурудзи необхідно узгоджувати дози основних добрив із фактичним винесенням елементів, повертати стеблову масу в ґрунт і враховувати специфічну реакцію макро- та мікроелементів на фон живлення й погодні умови.

В умовах Правобережного Лісостепу на чорноземі опідзоленому для отримання високого врожаю зерна кукурудзи з урахуванням економічної ефективності та балансу основних елементів живлення в ґрунті застосовувати $N_{80}P_{30}K_{55}$ з позакореневим підживленням препаратом Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га.

В агротехнології кукурудзи для отримання найбільшого прибутку можливе тимчасове застосування N_{160} без позакореневого підживлення за умови залишення стеблиння на полі та вирощування після пшениці озимої в чотирипільній сівозміні.

Ключові слова: способи удобрення, дози мінеральних добрив, види добрив, кукурудза, показники росту рослин, урожайність, позакореневе підживлення, господарське винесення, відносне винесення, елементи живлення.

ABSTRACT

Sutyk O. V. Influence of foliar micronutrient fertilization on nitrogen uptake by maize on podzolized chernozem in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. – Qualifying scientific work (manuscript).

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in Specialty 201 "Agronomy" (20 – Agricultural Sciences and Food). – Uman National University, Uman, 2026.

The dissertation examines the formation of maize productivity indicators under various fertilizer types and rates, as well as foliar micronutrient application, taking into account contemporary changes in weather conditions. Parameters for the economic and relative removal of mineral nutrients, along with the balance of major nutrients under different fertilization regimes and weather conditions, were established.

The study determined maize productivity indicators associated with various fertilizer application methods within a four-field crop rotation, considering current weather fluctuations. Field measurements using portable devices were conducted to determine the SPAD index, stress level, and nitrogen-flavonoid index. A significant effect of basal fertilizer application and foliar treatment with Brexil™ Mix on plant physiological status parameters was confirmed. Parameters for the economic and relative removal of nutrients (nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium, sulfur, manganese, zinc) and the soil balance of major nutrients were established.

Maize plant height was influenced more significantly by fertilizer application than by foliar micronutrient fertilization. Specifically, on unfertilized plots, plant height ranged from 266 to 290 cm, increasing to 271–297 cm with nitrogen-based fertilization systems, depending on the study year. The application of complete mineral fertilizer resulted in taller corn plants, reaching 281–302 cm. The application of phosphorus and potassium fertilizers had the

least impact on this parameter.

The application of nitrogen-containing fertilizers resulted in a statistically significant increase in chlorophyll content in maize leaves throughout the study period. On average over the three years of research, chlorophyll content ranged from 45.0 % to 52.3 % depending on the treatment variant, representing a 16 % increase compared to plots receiving no foliar feeding. Application of Brexil™ Mix at 1.5 kg/ha raised chlorophyll content to 45.6–54.4 % (an increase of 1–3 % compared to plots without foliar feeding). With two applications of this product, the value rose to 46.3–53.9 % (an increase of 2–3 % compared to plots without foliar feeding), though it remained comparable to the level observed with a single application of Brexil™ Mix at 1.5 kg/ha.

Plant stress levels showed little variation compared to plots treated with fertilizers; furthermore, this indicator remained relatively stable throughout the years of the study. The nitrogen-flavonoid index of maize leaves increased significantly with the application of nitrogen-containing fertilizers and foliar feeding. Specifically, with the application of a complete mineral fertilizer alone, the nitrogen-flavonoid index rose to 1.90–2.17 units (an increase of 28–46 % compared to the control). A single foliar application resulted in a nitrogen-flavonoid index of 2.00–2.53 units, compared to 1.59 units in the control. With two foliar applications, the nitrogen-flavonoid index increased from 1.61 to 2.35–2.68 units.

Corn grain yield showed the greatest increase with the application of complete mineral fertilizer. Specifically, the average yield over the three-year study period rose from 11.60 t/ha to 14.30–15.83 t/ha (an increase of 26–36 %) compared to the variant without foliar feeding. Meanwhile, under the phosphorus-potassium fertilization system, the yield increased to 14.04 t/ha, or by 4 % relative to the control. The use of complete mineral fertilizer resulted in a 1–5 % higher yield compared to nitrogen-only fertilization systems.

One-time and two-time applications of Brexil™ Mix did not result in a statistically significant increase in maize grain yield. Yields ranged from

11.75 to 16.10 t/ha depending on the experimental treatment, representing a 1–2 % increase compared to plots that did not receive foliar feeding; this trend persisted throughout the years of the study.

Grain protein content increased most significantly with the application of nitrogen fertilizers, rising from 6.7 % to 8.2–9.0 % with the application of complete mineral fertilizer, whereas it remained at 6.5 % under the phosphorus-potassium fertilization regime. Protein content fluctuated across the study years: it ranged from 6.3 % to 10.2 % in 2024, 7.4 % to 9.4 % in 2023, and 6.5 % to 7.5 % in 2025, depending on the experimental treatment.

It should be noted that foliar applications of Brexil™ Mix had no effect on maize grain protein content throughout the study period.

On unfertilized plots, nutrient content in maize grain varied according to weather conditions: nitrogen 1.02–1.23 %, potassium 0.28–0.36 %, phosphorus 0.18–0.24 %, magnesium 1110–1210 mg/kg, sulfur 903–851 mg/kg, manganese 4.8–5.3 mg/kg, and zinc 11.0–13.6 mg/kg. With the application of nitrogen-containing mineral fertilizers, these values were as follows: nitrogen 1.18–1.70 %, potassium 0.28–0.33 %, phosphorus 0.18–0.23 %, magnesium 1080–1140 mg/kg, sulfur 1087–1296 mg/kg, manganese 4.1–6.7 mg/kg, and zinc 10.2–13.1 mg/kg.

In unfertilized plots, the content in corn stalks—varying according to weather conditions—was: nitrogen 0.23–0.27 %, potassium 1.13–1.18 %, phosphorus 0.11–0.14 %, magnesium 1352–1498 mg/kg, sulfur 201–225 mg/kg, manganese 24.3–28.6 mg/kg, and zinc 4.2–5.1 mg/kg. With the application of nitrogen-containing mineral fertilizers, these values were: nitrogen 0.50–0.91 %, potassium 1.19–2.02 %, phosphorus 0.11–0.17 %, magnesium 2556–2941 mg/kg, sulfur 528–966 mg/kg, manganese 31.5–59.1 mg/kg, and zinc 4.5–5.5 mg/kg.

Research has shown that the patterns of nutrient accumulation, distribution, and crop uptake in maize were primarily determined by the basal mineral fertilization system, weather conditions during the growing season, and the

nature of interactions between individual elements. Foliar application of Brexil™ Mix served a primarily corrective function, with its effectiveness depending on the baseline nutrient supply available to the plants. The product's impact was most pronounced regarding magnesium, zinc, and manganese; less consistent for potassium, phosphorus, and sulfur; and minimal regarding nitrogen concentration in the grain.

Nitrogen nutrition was the decisive factor determining nitrogen and sulfur content and significantly influenced the accumulation of magnesium, zinc, and manganese in the vegetative biomass. Increasing the nitrogen rate to N160 boosted crop yield and plant biomass, thereby increasing the crop uptake of most studied elements, even without their direct application. This indicates increased utilization of soil nutrient reserves under intensive nitrogen nutrition and highlights the need for balanced fertilization.

The complete mineral fertilizer regimen (N160P60K110) generally resulted in the highest total crop uptake of nitrogen, potassium, phosphorus, magnesium, and sulfur. This outcome was driven by a combination of higher crop productivity, substantial stalk mass, and improved plant access to essential nutrients. At the same time, maximum concentrations of certain trace elements did not always occur under full NPK fertilization; this indicates complex synergistic and antagonistic interactions between elements, as well as a possible dilution effect associated with increased crop yield.

The distribution of elements between the grain and the stalks exhibited distinct species-specific characteristics. Nitrogen, phosphorus, sulfur, and zinc accumulated at higher concentrations in the grain, although the proportion of these elements removed by the stalks increased significantly at high nutrient levels. Potassium, magnesium, and manganese were concentrated primarily in the vegetative mass. This pattern was particularly pronounced for potassium and manganese, where the amount removed by the stalks was several times greater than that removed by the grain. Consequently, the method of utilizing crop residues is a crucial factor in the nutrient balance of maize fertilization systems.

Leaving stalks in the field was most significant for the return of potassium, magnesium, and manganese, as the bulk of these elements accumulated in the vegetative mass. When harvesting only the grain, the application of K55–K110 and P60 ensured a positive potassium and phosphorus balance. In treatments without the corresponding fertilizers, the balance remained negative, and increasing nitrogen nutrition levels exacerbated the deficit due to more intensive depletion of soil reserves. The nitrogen balance was negative across all studied variants, indicating significant nitrogen removal by the crop and the need to account for all input and loss sources within the fertilization system.

Foliar application of Brexil™ Mix had varying effects on the elements studied. No clear, consistent change in grain nitrogen concentration was established. For potassium and phosphorus, the product generally increased grain content and total crop removal, although two applications did not always outperform a single application. The most pronounced and consistent effects were observed for magnesium and manganese, particularly regarding their accumulation in stalks and total removal. The response for sulfur depended on the nitrogen background, while the response for zinc was the most contrasting: zinc content in the grain increased in the control, nitrogen-only, and phosphorus-potassium treatments, whereas it generally decreased in the complex NPK treatments.

Two applications of Brexil™ Mix most frequently outperformed a single application in terms of magnesium, zinc, and manganese accumulation in stalks and their total crop removal. For macronutrients, this advantage was less consistent and depended on the year and the mineral nutrition background. Thus, increasing the frequency of foliar applications cannot be viewed as a universal factor for enhancing the uptake of all elements; its advisability must be determined by the initial level of mineral nutrition and the specific element in question.

Variations in indicators across the study years confirmed the significant

role of weather conditions in nutrient availability, uptake, redistribution among plant organs, and removal by the crop. The greatest year-to-year differences were observed in the content of potassium, magnesium, zinc, and manganese, as well as in the removal of nutrients via stalk biomass. This highlights the need to evaluate the effectiveness of fertilization systems based on multi-year results rather than a single year.

Thus, the highest level of nutrient utilization for crop formation was achieved with adequate nitrogen nutrition and a balanced supply of phosphorus and potassium. Foliar application of Brexil™ Mix complemented the primary fertilization system but did not replace it. To maintain soil fertility and ensure stable mineral nutrition for maize, it is necessary to align base fertilizer rates with actual nutrient removal, return stalk biomass to the soil, and account for the specific responses of macro- and micro-nutrients to the nutritional background and weather conditions.

In the Right-Bank Forest-Steppe zone, on podzolized chernozem soil, achieving high maize grain yields while considering economic efficiency and the balance of key soil nutrients is best accomplished by applying N80P30K55 combined with a foliar application of Brexil™ Mix at a rate of 1.5 kg/ha.

To maximize profit in maize production, it is feasible to apply N160 without foliar feeding, provided that stalk residues are left in the field and the crop follows winter wheat in a four-field crop rotation.

Keywords: fertilization methods, mineral fertilizer rates, fertilizer types, maize, plant growth parameters, yield, foliar feeding, nutrient removal (farm-gate), relative nutrient removal, nutrients.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України

1. Любич В. В., Сутик О. В. Вміст елементів живлення в зерні кукурудзи залежно від способів внесення добрив. Збірник наукових праць Уманського національного університету. 2025. Вип. 107. Ч. 1. С. 10–19. 10.32782/2415-8240-2025-107-1-10-19. *(проведення експерименту, аналіз даних – частка участі 65 %)*.

2. Любич В. В., Сутик О. В. Індекси продуктивності рослин кукурудзи за різних способів внесення добрив. Аграрні інновації. 2025. № 34. С. 112–116. 10.32848/agrar.innov.2025.34.15. *(участь в експерименті, готування до друку – частка участі 65 %)*.

3. Любич В. В., Сутик О. В. Урожайність і вміст білка в зерні кукурудзи за різних способів удобрення. Таврійський науковий вісник. 2026. №147, ч. 2. С. 24–30. doi.org/10.32782/2226-0099.2026.147.2.3. *(участь в проведенні експерименту, оформлення тексту – частка участі 65 %)*.

Матеріали науково-практичних конференцій

4. Любич В. В., Сутик О. В. Значення різних видів і доз добрив у формуванні стабільного врожаю зерна кукурудзи. «Наукове забезпечення виробництва конкурентоспроможної сільськогосподарської продукції в умовах формування екологічностійких агроландшафтів»: збірник тез міжнародної інтернет-конференції, 17 червня 2025 р. Умань, 2025. С. 187–190. *(ведення досліду, оформлення тез – частка участі 65 %)*.

5. Любич В. В., Сутик О. В. Продуктивність кукурудзи за різних способів удобрення. Наукові засади підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва: матеріали IX Міжнар. наук.-практ. конф., 28 листопада 2025 р. Держ. біотехнологічний ун-т. Харків, 2025. С. 237–238. *(участь в проведенні експерименту, оформлення тексту – частка участі 65 %)*.

6. Bilan S., Gaina G., Vlasenko O., Sutyk O., Roiko Y. Methods for Automatically Determining the Level of Disease Damage to Plant Leaves from Their Raster Image. International Scientific Conference "Information Technology and Implementation" (IT&I-2023), Kyiv. P. 106–115. *(проведення досліджень, готування до друку тез – частка участі 55 %)*.

ЗМІСТ

		стор.
	ВСТУП	17
РОЗДІЛ 1	ЕФЕКТИВНІСТЬ ВНЕСЕННЯ ДОБРИВ ПІД КУКУРУДЗУ (огляд літератури)	22
1.1	Значення кукурудзи	22
1.2	Продуктивність кукурудзи за різного удобрення основними елементами живлення	25
1.3	Формування продуктивності залежно від застосування мікродобрив	34
РОЗДІЛ 2	УМОВИ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	42
2.1	Ґрунтово-кліматичні та погодні умови	42
2.2	Методика проведення досліджень	49
РОЗДІЛ 3	ІНДЕКСИ ПРОДУКТИВНОСТІ РОСЛИН КУКУРУДЗИ ЗА РІЗНИХ СПОСОБІВ ВНЕСЕННЯ ДОБРИВ	57
3.1	Висота рослин	57
3.2	Індекси продуктивності	59
РОЗДІЛ 4	ПРОДУКТИВНІСТЬ КУКУРУДЗИ ЗА РІЗНИХ СПОСОБІВ ВНЕСЕННЯ ДОБРИВ	66
РОЗДІЛ 5	ОСОБЛИВОСТІ ЗАСВОЄННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ЖИВЛЕННЯ КУКУРУДЗОЮ ЗА РІЗНИХ СПОСОБІВ ВНЕСЕННЯ ДОБРИВ	75
5.1	Азот	76
5.2	Калій	86
5.3	Фосфор	102
5.4	Магній	118
5.5	Сірка	133
5.6	Цинк	148

5.7	Манган	163
РОЗДІЛ 6	ЕКОНОМІЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РІЗНИХ СПОСОБІВ ВНЕСЕННЯ ДОБРИВ ПІД КУКУРУДЗУ	180
	ВИСНОВКИ	184
	РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ	189
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	190
	ДОДАТКИ	213

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. Кукурудза (*Zea mays* L.) є однією з найважливіших зернових культур світового землеробства та посідає провідне місце за обсягами виробництва зерна поряд із пшеницею та рисом. Висока врожайність, універсальність використання та широка екологічна пластичність зумовили її стратегічне значення для продовольчої безпеки, кормової бази тваринництва та розвитку переробної промисловості. У сучасних агроекосистемах кукурудза розглядається не лише як джерело зерна, але й як багатофункціональна культура, що відіграє важливу роль у формуванні сівозмін, стабілізації ґрунтової родючості та розвитку біоенергетики.

Порівняно з іншими зерновими культурами кукурудза характеризується підвищеною потребою в елементах живлення через формування значної біомаси (понад 10 т/га зерна і 40–50 т/га побічної продукції), тривалий вегетаційний період і здатність засвоювати поживні речовини до повного достигання зерна.

Система удобрення є одним із ключових чинників формування врожайності та якості зерна кукурудзи. Хоча за період вегетації культура засвоює мікроелементи у відносно невеликих кількостях, їх значення для забезпечення високої продуктивності є не менш важливим, ніж роль макроелементів. Нестача будь-якого елемента живлення може обмежувати реалізацію потенціалу гібридів різних груп стиглості та знижувати рівень урожайності. Зважаючи на різко континентальні особливості погодних умов, особливо, в період вегетації рослин дослідження ефективності різних способів удобрення 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 національного університету «Збалансоване використання, прогноз і управління

природним та ресурсним потенціалом агроекосистем 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».

Мета і завдання досліджень. Мета досліджень – вивчення впливу різних видів і доз мінеральних добрив, внесених у різним поєднаннях на одиницю площі та позакореневого підживлення мікродобривом на продуктивність кукурудзи й розроблення системи удобрення для відновлення родючості ґрунту та одержання стабільних урожаїв.

Для досягнення мети поставлено такі **завдання**:

– визначити вплив різних способів удобрення на показники росту та розвитку рослин кукурудзи;

– з’ясувати вплив тривалого застосування мінеральних добрив з позакореневим підживленням мікродобривом на формування врожайності та якості зерна кукурудзи;

– розрахувати винесення елементів живлення кукурудзою залежно від різних способів удобрення;

– провести економічне оцінювання ефективності застосування різних добрив у чотирипільній сівозміні під кукурудзу.

Об’єкт досліджень – вплив різних систем удобрення та позакореневого підживлення мікродобривом 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 способів удобрення 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 елементів живлення в зерні та стеблах, біохімічної складової зерна), аналітичні (аналіз процесу формування продуктивності рослин 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. Хімічні та фізико-хімічні аналізи проводили стандартизованими і загальноприйнятими методами з використанням сертифікованих приладів в атестованій лабораторії масових аналізів Уманського національного університету.

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

Уперше

визначено формування показників продуктивності кукурудзи за різних способів внесення добрив у чотирипільній сівозміні з урахуванням сучасних змін погодних умов. Визначено SPAD-індекс, рівень стресового стану та азотно-флавоноїдний індекс за допомогою портативних приладів у польових умовах. Підтверджено достовірний вплив основного внесення добрив і позакореневого підживлення препаратом Брексіл™ Мікс на параметри фізіологічного стану рослин. Встановлено параметри господарського, відносного винесення елементів живлення (азот, фосфор, калій, магній, сірка, манган, цинк) та баланс основних елементів живлення в ґрунті.

Науково доведено, що застосування $N_{80}P_{30}K_{55}$ з позакореневим підживленням препаратом Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га забезпечує формування врожайності зерна з високою економічно ефективністю. За внесення $N_{160}P_{60}K_{110}$ врожайність зерна кукурудзи збільшується, проте прибуток

менший порівняно з внесенням $N_{80}P_{30}K_{55}$.

Урожайність зерна кукурудзи за вирощування на азотних системах удобрення забезпечує найвищу економічну окупність.

Удосконалено систему удобрення кукурудзи у чотирипільній сівозміні з урахуванням економічної ефективності та відновлення родючості чорноземі опідзоленого.

Дістало подальшого розвитку можливість зниження доз мінеральних добрив та економного внесення фосфорних і калійних за тривалого застосування добрив. Розроблення ефективних способів застосування мікродобрив для підвищення продуктивності рослин в умовах дефіциту вологи і високої температури.

Практичне значення отриманих результатів полягає в уточненні показників відносного винесення елементів живлення (азот, фосфор, калій, магній, сірка, манган, цинк) кукурудзою з урахуванням погодних умов. Удосконалено систему удобрення кукурудзи у чотирипільній сівозміні. Встановлено, що для отримання високого врожаю зерна кукурудзи з урахуванням економічної ефективності та балансу основних елементів живлення в ґрунті застосовувати $N_{80}P_{30}K_{55}$ з позакореневим підживленням препаратом Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га. В агротехнології кукурудзи для отримання найбільшого прибутку можливе тимчасове застосування N_{160} без позакореневого підживлення за умови залишення стеблиння на полі та вирощування після пшениці озимої в чотирипільній сівозміні.

Основні результати дослідження впроваджено в ТОВ «УКРАГРОКОМ» Кіровоградської області на площі 120 га (акт від 14.09.2026 р.), в ФГ «ГВМ-АГРО» Хмельницької обл. на площі 180 га (акт від 08.09.2026 р.).

Декларація про використання генеративного штучного інтелекту. Під час підготовки дисертації генеративні інструменти штучного інтелекту не використовувалися.

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.

Апробація результатів дисертації. Основні результати виконаних досліджень доповідались і обговорювались на Міжнародних науково-практичних конференціях «Наукове забезпечення виробництва конкурентоспроможної сільськогосподарської продукції в умовах формування екологічностійких агроландшафтів» (Умань, 2025), «Наукові засади підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва» (Харків, 2025), «Information Technology and Implementation» (Київ, 2023).

Публікації. Результати досліджень дисертаційної роботи опубліковано в 6 наукових працях, з яких 3 – статті в фахових виданнях України і 3 – праці в матеріалах науково-практичних конференцій.

Обсяг і структура дисертації. Дисертаційну роботу викладено на 218 сторінках комп'ютерного набору, в тому числі 173 – основного тексту, що включає вступ, шість розділів, висновки, рекомендації виробництву. Містить анотацію, 71 таблицю і два додатки (відомості про апробацію результатів дисертації). Список використаних джерел включає 197 найменування, з яких 55 – латиницею.

РОЗДІЛ 1
ПРОДУКТИВНІСТЬ КУКУРУДЗИ ЗАЛЕЖНО ВІД ЗАСТОСУВАННЯ МІКРОДОБРИВ НА ТЛІ ВНЕСЕННЯ ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЖИВЛЕННЯ

1.1 Значення кукурудзи

Кукурудза (*Zea mays* L.) є однією з найважливіших зернових культур світового землеробства та посідає провідне місце за обсягами виробництва зерна поряд із пшеницею та рисом. Висока врожайність, універсальність використання та широка екологічна пластичність зумовили її стратегічне значення для продовольчої безпеки, кормової бази тваринництва та розвитку переробної промисловості. У сучасних агроекосистемах кукурудза розглядається не лише як джерело зерна, але й як багатофункціональна культура, що відіграє важливу роль у формуванні сівозмін, стабілізації ґрунтової родючості та розвитку біоенергетики [65, 141, 9].

Походження кукурудзи пов’язують із територією Центральної Америки, де вона була окультурена понад 7–9 тис. років тому. У подальшому культура поширилася в усі ґрунтово-кліматичні зони світу, що стало можливим завдяки значному генетичному різноманіттю та активній селекційній роботі. На сьогодні кукурудза вирощується більш ніж у 160 країнах світу, а загальний валовий збір зерна перевищує 1 млрд тонн на рік [173, 42].

Високе значення кукурудзи в агрономії зумовлене її біологічними особливостями. Культура належить до рослин С4-типу фотосинтезу, що забезпечує ефективніше використання сонячної радіації, води та поживних речовин порівняно з багатьма іншими зерновими культурами. Саме ця особливість пояснює високий потенціал урожайності кукурудзи навіть за умов обмеженого зволоження [148, 12, 190].

Коренева система кукурудзи добре розвинена, проникає на глибину понад 1,5–2,0 м, що сприяє використанню вологи з глибоких шарів ґрунту. Рослина позитивно реагує на підвищений агрофон, внесення органічних і мінеральних добрив, зрошення та сучасні технології обробітку ґрунту. Це робить кукурудзу ключовою культурою інтенсивного землеробства [171, 86, 82].

Важливою агрономічною рисою є здатність культури формувати високий урожай як зерна, так і вегетативної маси. Завдяки цьому кукурудза має універсальне призначення і може використовуватися як зернова, силосна, зелена кормова та технічна культура [139, 161].

Кукурудза є однією з основних продовольчих культур у світі, особливо в країнах Африки, Латинської Америки та Азії. Зерно кукурудзи характеризується високою поживною цінністю: воно містить 65–74 % вуглеводів, 9–15 % білка та 4,0–10 % жиру (у зародку – до 40 %), а також 2,0–2,5 % клітковини. Крім того, у складі присутні вітаміни А, С, групи В, РР, Е та близько 1,5 % мінеральних речовин, зокрема фосфор, кальцій, залізо й мікроелементи. Висока енергетична цінність зерна зумовлює його важливу роль у раціоні людини [8, 160, 197, 11].

У харчовій промисловості кукурудза використовується для виробництва круп, борошна, крохмалю, сиропів, пластівців, олії та різноманітних харчових інгредієнтів. Окремі гібриди спеціального призначення застосовуються для виробництва солодкої кукурудзи, попкорну та дієтичних продуктів. Таким чином, кукурудза є базовою сировиною для багатьох галузей харчової промисловості [197, 161, 106, 47, 33].

Особливе місце кукурудза посідає у формуванні кормової бази тваринництва. За поживністю та перетравністю вона є однією з найцінніших кормових культур. Зерно кукурудзи широко використовується у комбікормовій промисловості як основне джерело енергії для годівлі свиней, птиці та великої рогатої худоби [103, 40].

1 кг кукурудзи дорівнює 1,34 кормової одиниці та містить близько 70 г перетравного протеїну. У 100 кг зеленої маси, зібраної у фазі молочно-воскової стиглості, міститься 32 кормові одиниці, тоді як 100 кг сухих стебел після збирання на зерно забезпечують 37 кормових одиниць і близько 1,5 кг перетравного протеїну [7].

Силос із кукурудзи характеризується високою кормовою цінністю, доброю поїданням та оптимальним співвідношенням вуглеводів і клітковини. Завдяки цьому кукурудзяний силос є незамінним компонентом раціонів молочної та м'ясної худоби. У багатьох країнах світу саме кукурудза становить основу кормовиробництва [176].

Кукурудза є важливою технічною культурою, що використовується в різних галузях промисловості. З її зерна отримують крохмаль, декстрини, глюкозо-фруктозні сиропи, спирт, біоетанол, органічні кислоти та біополімери. Олія кукурудзи цінується за високий вміст ненасичених жирних кислот і широко застосовується в харчовій та фармацевтичній промисловості [8, 158, 91, 12].

У контексті розвитку відновлюваної енергетики кукурудза набуває особливого значення як сировина для виробництва біоетанолу та біогазу. Використання кукурудзи в біоенергетиці сприяє зменшенню залежності від викопних видів палива та зниженню викидів парникових газів [71, 105, 156].

Кукурудза відіграє важливу роль у сівозмінах завдяки високій фітосанітарній цінності та здатності залишати значну кількість рослинних решток. За умови раціонального обробітку ґрунту та повернення пожнивних залишків культура сприяє покращенню структурного стану ґрунту та накопиченню органічної речовини [66, 109, 141, 48].

Водночас інтенсивне вирощування кукурудзи потребує науково обґрунтованого підходу до удобрення та захисту рослин, оскільки надмірне застосування агрохімікатів може призводити до деградації ґрунтів та негативного впливу на довкілля. Тому сучасні технології

вирощування кукурудзи все більше орієнтуються на принципи сталого землеробства [8, 154, 161].

В Україні кукурудза є однією з провідних експортно орієнтованих культур і відіграє ключову роль у формуванні валютних надходжень аграрного сектору. Завдяки сприятливим ґрунтово-кліматичним умовам та впровадженню високопродуктивних гібридів Україна входить до числа провідних виробників і експортерів кукурудзи у світі [72, 185].

Частка України у світовому виробництві зерна кукурудзи становить близько 3,2 %. Водночас у національному зерновому балансі ця культура має ключове значення: в останні роки її питома вага в структурі валового збору зерна сягає майже 50 %.

Кукурудза має важливе значення для стабілізації зернового ринку, розвитку тваринництва та переробної промисловості. Подальше підвищення ефективності виробництва кукурудзи пов’язане з удосконаленням технологій вирощування, адаптацією до змін клімату та впровадженням інноваційних агротехнічних рішень [47, 196, 81].

Отже, кукурудза є стратегічно важливою культурою сучасного землеробства, що має багатогранне продовольче, кормове, промислове, енергетичне та екологічне значення. Її роль у забезпеченні сталого розвитку аграрного виробництва постійно зростає, що обумовлює необхідність подальших наукових досліджень та вдосконалення технологій вирощування.

1.2 Продуктивність кукурудзи за різного удобрення основними елементами живлення

Система удобрення є одним із ключових чинників формування врожайності та якості зерна кукурудзи [187, 1, 50]. Хоча за період вегетації культура засвоює мікроелементи у відносно невеликих кількостях, їх значення для забезпечення високої продуктивності є не менш важливим,

ніж роль макроелементів. Нестача будь-якого елемента живлення може обмежувати реалізацію потенціалу гібридів різних груп стиглості та знижувати рівень урожайності. [70, 195, 194].

Порівняно з іншими зерновими культурами кукурудза характеризується підвищеною потребою в елементах живлення через формування значної біомаси (понад 10 т/га зерна і 40–50 т/га побічної продукції), тривалий вегетаційний період і здатність засвоювати поживні речовини до повного достигання зерна [174].

Поглинання макроелементів триває впродовж усього онтогенезу культури та завершується на стадії фізіологічної стиглості, коли рослини акумулюють близько 90 % загальної кількості необхідних речовин. За експериментальними даними, для формування 1 т біомаси листостеблової маси кукурудза споживає 16–35 кг азоту, 7–13 кг фосфору та 20–35 кг калію [107].

Найвищий уміст фосфору зафіксовано за застосування препарату Intermag Titan: у листках кукурудзи – 184 мг/100 г, у коренях – 114 мг/100 г, тоді як за використання Black Jack KS у стеблах виявлено 164 мг/100 г фосфору. Це свідчить про те, що титановмісні добрива активізують засвоєння фосфору й калію, а гумати є ефективним джерелом калію.

За результатами досліджень визначено рекомендовані норми мінерального удобрення кукурудзи залежно від ґрунтово-кліматичної зони. Для умов Полісся та Лісостепу оптимальними є такі дози: азоту – 80–140 кг д. р./га, фосфору – 90–120 кг д. р./га, калію – 60–136 кг д. р./га. У зоні Степу доцільно застосовувати 90–120 кг д. р./га азоту, 60–90 кг д. р./га фосфору та 20–40 кг д. р./га калію [102, 111, 143, 146, 147].

Експериментальні дані свідчать, що найінтенсивніше засвоєння поживних елементів із ґрунту, необхідне для формування високої зернової врожайності та значної листостеблової маси, характерне для середньостиглих гібридів кукурудзи, тоді як у середньоранніх цей показник є нижчим. Внесення мінеральних добрив забезпечувало

підвищення рівня поглинання елементів живлення приблизно у 1,5 раза. У структурі споживання домінував азот (близько 44 %), далі – калій (30–31 %), тоді як частка фосфору була найменшою і становила 25–26 % [159, 162, 164].

За результатами досліджень Ayeni L. S. [2] встановлено, що порівняно з контролем внесення мінеральних ($N_{15}P_{15}K_{15}$), органічних і органо-мінеральних добрив суттєво підвищувало висоту рослин кукурудзи, площу та кількість листків, а також урожайність зерна і побічної продукції.

Дослідження [106] показали, що внесення мінеральних добрив у нормі $N_{90}P_{90}K_{90}$ забезпечило найвищий уміст калію: 1205 мг/100 г у листках, 1362 мг/100 г у стеблах і 725 мг/100 г у зерні. Найбільшу концентрацію магнію в стеблах (48 мг/100 г) відзначено на контролі. Максимальний уміст алюмінію в листках (96 мг/100 г) встановлено за мінерального удобрення, тоді як кальцію – за застосування Intermag Titan (1557 мг/100 г). Найнижчий уміст кальцію спостерігався за мінерального удобрення та на контролі (824–830 мг/100 г), проте саме ці варіанти характеризувалися найвищим умістом цинку – 1182 і 358 мг/100 г відповідно.

Саверин І. В., Качмар О. Й. [175] встановили що найбільшу продуктивність кукурудзи отримано в зернових сівозмінах після пшениці озимої: без удобрення – 4,50–4,64 т/га; за $N_{120}P_{100}K_{100}$ – 7,27–7,49 т/га; за $N_{150}P_{120}K_{120}$ – 9,51–9,64 т/га. Кормова продуктивність становила відповідно 9,74–10,04 та 12,74–12,92 т/га кормових одиниць.

Авторами встановлено [83], що у середньоранніх гібридів найвищі показники структури врожаю зафіксовано за внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$ у поєднанні з Plantonit Frumentum. У гібридів Жаклін, Амарос і Р8409 маса зерна з качана становила відповідно 146,0; 136,2 і 150,2 г, а маса 1000 зерен – 241,2; 245,9 і 271,8 г, що перевищувало контроль (без добрив) на 19,4–25,5 г і 19,6–21,5 г відповідно.

Павліченко К. В. [151] встановлено, що внесення доз $N_{90}P_{60}K_{60}$ і $N_{120}P_{90}K_{90}$ зумовлювало підвищення загальної маси рослин на 12,7–30,8 %,

тоді як використання мікродобрив забезпечувало додатковий приріст на 0,7–2,8 % порівняно з варіантами без їх застосування.

Експериментально підтверджено [175], що найвищий вихід перетравного протеїну отримано в зерно-просапній сівозміні при вирощуванні кукурудзи на зелену масу: без добрив – 0,39 т/га (30,45 т/га зеленої маси), за внесення $N_{120–150}P_{100–120}K_{100–120}$ із побічною продукцією – 0,62–0,80 т/га (47,60–61,65 т/га). За вирощування на зерно максимальні показники (0,76–0,77 т/га при 9,51–9,64 т/га) забезпечило сумісне застосування $N_{150}P_{120}K_{120}$ і органічних решток у зернових та зерно-трав'яній сівозмінах. Найнижчий вихід відзначено в повторних посівах: без добрив – 0,29 т/га (3,58 т/га зерна); удобрення підвищувало врожайність до 6,31–8,44 т/га та відповідно збільшувало вихід протеїну.

У південному регіоні України азот є основним лімітуючим елементом живлення кукурудзи. На темно-каштанових ґрунтах за внесення $N_{120}P_{40}$ урожайність зерна становила 8,84–10,22 т/га, підвищення норми до $N_{150}P_{40}$ забезпечило приріст близько 9 %, а за $N_{180}P_{40}$ отримано максимальні 10,60 т/га (+9,8 % до $N_{120}P_{40}$) [64].

Фосфор меншою мірою впливає на врожайність, проте є критично важливим у фазі 4–6 листків: його дефіцит зумовлює недорозвинення качанів. Оптимальне фосфорне живлення сприяє розвитку кореневої системи, підвищує посухостійкість і прискорює достигання зерна. Калій необхідний із початкових етапів росту до цвітіння; його нестача пригнічує ріст, зменшує вегетативну масу та знижує продуктивність, тоді як достатнє забезпечення покращує засвоєння азоту й фосфору [95, 145].

У Правобережному Лісостепу реакція гібридів на удобрення залежала від густоти стояння: за 60 тис./га більшість гібридів ефективно використовували норми до $N_{150}P_{135}K_{135}$, тоді як за 90 тис./га лише окремі з них позитивно реагували на високий агрофон; інші знижували врожайність через поверхневе розміщення коренів і дефіцит вологи [104].

На чорноземі опідзоленому внесення $N_{120}P_{90}$ підвищило врожайність з 5,08 до 10,61 т/га (у 2,1 раза), $N_{120}P_{90}K_{90}$ – до 11,12 т/га (у 2,2 раза), а $N_{160}P_{120}K_{120}$ – до 12,89 т/га (у 2,5 раза). Вапнування посилювало ефективність мінеральних добрив [80].

Азотні добрива є одним із ключових чинників формування високої врожайності кукурудзи та підвищення її поживної цінності [43, 34]. Оптимальні норми внесення забезпечують наближення врожаю до потенційно максимального рівня, тоді як надлишок азоту спричиняє екологічні ризики, погіршує агрохімічні, фізичні й біологічні властивості ґрунту [22].

За результатами досліджень [6], близько 26,0 % продуктивності культури зумовлюється рівнем азотного живлення, тоді як вплив погодних умов становить близько 27,0 %. У сприятливі роки ці фактори взаємодіють і формують понад половину врожаю, однак за посухи саме клімат стає лімітуючим чинником, знижуючи ефективність використання азоту рослинами.

Вміст білка в зерні кукурудзи значною мірою визначається забезпеченістю ґрунту азотом. Використання високопротеїнових гібридів у поєднанні з раціональною системою азотного живлення дає змогу істотно підвищити концентрацію білка, проте рівень його накопичення також залежить від температурного режиму та кількості опадів [18, 37].

Ляхно А. Ю. [138] доведено, що внесення КАС-32 (200 кг/га) забезпечило найвище засвоєння азоту та врожайність зерна кукурудзи 72,5 ц/га, що на 21,3 % більше порівняно з контролем. Карбамід (150 кг/га) і безводний аміак (85 кг/га) також підвищували продуктивність, однак поступалися за ефективністю через особливості трансформації азоту в ґрунті. За використання КАС-32 сформовано найбільшу масу 1000 насінин – 301 г, що на 6–35 г більше, ніж в інших варіантах. Натура зерна (785–793 г/л) також була максимальною за внесення КАС-32. Біохімічний склад зерна підтвердив перевагу цього варіанта: вміст білка, жиру та крохмалю

становив 11,0 %, 6,8 % і 69,0 % відповідно, що перевищує показники інших форм азотного удобрення та контроль.

За результатами досліджень [73], на контролі вміст жиру в зерні кукурудзи становив 4,36–4,41 % у ранньостиглих гібридів (ФАО 100–199) та 4,43–4,46 % у середньоранніх (ФАО 200–299). Внесення мінеральних добрив у нормі $N_{120}P_{90}K_{90}$ знижувало цей показник на 0,14–0,20 %, а підвищення дози азоту до $N_{150}P_{90}K_{90}$ – на 0,38–0,48 %, що свідчить про тенденцію до зменшення вмісту жиру зі зростанням азотного живлення. Вміст клітковини істотно не змінювався під впливом удобрення та норм висіву. Зольність зерна на контролі становила 1,19–1,22 % і зменшувалася на 0,05–0,10 % за внесення добрив, аналогічну тенденцію відзначено й щодо безазотових екстрактивних речовин. Натомість вміст крохмалю зростав: за норми $N_{120}P_{90}K_{90}$ – на 0,76–0,92 %, а за підвищеної дози азоту – до 1,02–1,46 % порівняно з контролем, причому ранньостиглі гібриди формували дещо вищі показники.

Авторами [96] встанволено, що у північній частині Лісостепу України зерно кукурудзи з високим умістом протеїну (10,93–11,24 %), жиру (4,09–4,18 %) і достатнім рівнем крохмалю (58,30–58,92 %) формується за використання соломи пшениці озимої як удобрення в поєднанні з мінеральними добривами у дозах $N_{180–300}P_{120–180}K_{180–300}$. Водночас максимальний уміст крохмалю (63,09–63,69 %), важливий для виробництва біоетанолу, забезпечується за вирощування без мінеральних добрив або при застосуванні лише побічної продукції попередника, зокрема у поєднанні з N_{40}.

За даними [89] підживлення кукурудзи сумішшю карбаміду з мікроелементами забезпечувало врожайність 8,30–8,78 т/га.

Встановлено [189], що максимальний показник урожайності кукурудхи (11,23 т/га) отримано за обробки посівів препаратами «Гулівер Стимул» (у фазі 3 листків) і «Росток кукурудза», що дало приріст 0,95 т/га порівняно з контролем.

У Лівобережному Лісостепу найефективнішою незалежно від погодних умов виявилася норма азотних добрив 150 кг/га [142].

Багаторічні дослідження підтверджують, що врожайність і якість зерна визначаються рівнем мінерального живлення, попередником, сортовими особливостями та кліматичними чинниками [179, 107, 116]. Водночас високої продуктивності доцільно досягати не шляхом надмірних доз добрив, а через науково обґрунтовану систему удобрення й відновлення родючості ґрунту [62, 178].

Лень О. І., Марініч Л. Г., Орловський О. В. [113] встановили, що усі досліджувані системи удобрення забезпечили істотне підвищення врожайності кукурудзи порівняно з контролем. За внесення побічної продукції та мінеральних добрив у нормі $N_{90}P_{110}K_{110}$ приріст становив 1,67 т/га (27,3 %), а поєднання соломи озимої пшениці з додатковим азотом (N_{10} на 1 т соломи) і тією ж нормою мінеральних добрив – 1,92 т/га (31,4 %). Додаткове застосування гумату калію (0,4 л/га) підвищувало врожайність на 2,23 т/га відносно контролю.

Найвищі результати отримано за комплексних систем удобрення: побічна продукція + N_{10} на 1 т соломи + $N_{90}P_{110}K_{110}$ + підживлення N_{15} у фазі 5–6 листків та побічна продукція + N_{10} + сидерат (гірчиця біла) + $N_{90}P_{110}K_{110}$. За цих варіантів приріст урожайності становив відповідно 2,41–2,57 т/га, або 39,4–42,1 % порівняно з неудобреним фоном.

Науковцями доведено [68], що урожайність зеленої маси гібридів кукурудзи зростала залежно від рівня удобрення: без добрив вона становила 42,4–44,0 т/га, за внесення $N_{120}P_{60}K_{60}$ – 54,8–58,9 т/га, а при $N_{150}P_{90}K_{90}$ – 61,1–71,5 т/га. Максимальний урожай зерна (7,49–7,83 т/га) отримано на фоні $N_{150}P_{90}K_{90}$. Порівняно з контролем приріст урожайності за оптимального мінерального живлення становив 3,14 т/га у ранньостиглих і 3,25 т/га у середньоранніх гібридів. За цієї ж норми удобрення маса 1000 зерен у ранньостиглих форм була на 5,7 % більшою, ніж у середньоранніх. Стабільно високі показники маси 1000 зерен за всіх

рівнів живлення відзначено у гібридів ДН Меотида (259–286 г) та Оржиця 237 МВ (269–322 г).

Циков В. С. та інш. [185] встановилено, що найсуттєвіший вплив на ріст кукурудзи мав режим живлення із внесенням N_{45} до сівби або на ранніх етапах розвитку. Застосування аміачної селітри під міжрядний обробіток підвищувало висоту рослин на 7 см, а під передпосівну культивацію – на 4 см порівняно з контролем (218 см). Кількість зерен у качані (569–636 шт.) зростала зі збільшенням дози добрив і за поєднання ґрунтового внесення N_{45} з позакореневим підживленням препаратами «Квантум-Кукурудза» та карбамідом. Маса 1000 зерен змінювалася незначно (212–220 г), проте дещо вищі показники відзначено за комплексного застосування аміачної селітри й мікродобрив.

За даними Mahmood Y. A. та ін. [125], найвищу врожайність зерна кукурудзи (9,52 т/га) отримано за сумісного внесення органічних і мінеральних добрив із позакореневим підживленням гуміновою кислотою, що на 341,7 % перевищувало контроль. Підвищення продуктивності зумовлене кращим забезпеченням рослин елементами живлення, синергією між добривами, активізацією біологічних процесів і зростанням умісту хлорофілу.

Дослідження показали [114], що найвищу врожайність гібридів ДН Патріот і ДН Фієста отримано за внесення $N_{45}P_{40}K_{60}$ у поєднанні з позакореневим підживленням карбамідом (15 кг/га) та Новалон Фоліар (1,0 кг/га) у фазі 5–6 листків на фоні полицевого обробітку ґрунту. Приріст урожайності становив відповідно 1,06 і 1,20 т/га (18,9–19,2 %) порівняно з контролем.

Встановлено [192], що максимальний рівень продуктивності (13,24 т/га) забезпечувало внесення $N_{160}P_{120}K_{120}$ із позакореневим підживленням мікродобривами, 5 % карбамідом і 5 % сульфатом магнію, що на 1,05 т/га більше, ніж без підживлення.

За даними Трубілова О. В. [183] дослідила, що застосування $N_{45}P_{45}K_{45}$ під першу культивацію або $N_{30}P_{30}K_{30}$ під час сівби забезпечувало приріст близько 0,40–0,41 т/га. Найвищий ефект (0,80 т/га) отримано за поєднання $N_{45}P_{45}$ під культивацію та $N_{15}P_{15}K_{15}$ при сівбі.

Ivanyshyn O. et al. [19] встановили, що оптимальну врожайність формували гібриди КВС 2323 (11,1–11,2 т/га) та КВС 381 (10,5–10,7 т/га) за внесення 250–300 кг/га макродобрив у поєднанні з 2–3 л/га мікродобрив.

Встановлено [98], що внесення мінеральних добрив у поєднанні з позакореневими підживленнями мікродобривами змінює хімічний склад зерна кукурудзи: вміст крохмалю та жиру зменшується на 0,19–1,28 % і 0,08–0,46 % відповідно, тоді як частка білка зростає на 0,19–0,59 % порівняно з контролем. У вегетативній масі (без зерна) зафіксовано підвищення зольності на 0,22–0,32 %, вмісту водню – на 0,12–0,27 %, азоту – на 0,09–0,16 %, сірки – на 0,01 %, а також зниження вмісту вуглецю на 0,19–0,46 % і кисню – на 0,04–0,06 %. Водночас істотної різниці в концентрації елементів залежно від дози мінеральних добрив не виявлено.

Вахній С. П., Засуха А. А. [63] дослідили, що найвищу врожайність основної та побічної продукції кукурудзи (9,41 і 13,72 т/га) забезпечило внесення N90P70K70 у поєднанні з позакореневим підживленням Ікар Біго Рутс (0,5 л/га), Ікар Фосто (0,5 л/га) та Ікар Зінто (0,5 л/га). Мінеральні добрива сприяли підвищенню врожайності зерна на 11,3–18,8 % і побічної продукції – на 15,2–22,1 %, тоді як застосування мікродобрив забезпечувало додатковий приріст відповідно на 3,5–6,5 % і 5,8–9,8 %.

В результаті проведених досліджень встановлено [97] Найсприятливіші умови для росту кукурудзи сформувалися за внесення $N_{90}P_{70}K7_0$ у поєднанні з позакореневим підживленням Ікар Біго Рутс, Ікар Фосто та Ікар Зінто (по 0,5 л/га). У цьому варіанті зафіксовано максимальні показники структури врожаю: довжина качана – 17,7 см, діаметр – 4,6 см, кількість зерен – 489,3 шт., маса зерна з качана – 141,2 г, маса 1000 зерен – 287,2 г. Також відзначено найбільшу масу рослини

(512,2 г), зокрема качана із зерном – 169,1 г, стебла – 231,5 г, листків – 89,5 г і волоті – 22,1 г.

Окрім макроелементів, важливе значення мають мікроелементи (B, Mn, Zn, Cu, Mo тощо), оптимальне забезпечення якими досягається застосуванням мікродобрив [184, 181].

Отже, аналіз наукових джерел свідчить, що система удобрення є одним із визначальних чинників формування врожайності та якості зерна кукурудзи. Оптимальне забезпечення рослин добривами сприяє активізації ростових процесів, формуванню потужної листостеблової маси, підвищенню інтенсивності фотосинтезу та покращенню біохімічного складу зерна. Ефективність удобрення значною мірою залежить від ґрунтово-кліматичних умов, біологічних особливостей гібридів, попередників і рівня агрофону. Водночас досягнення стабільно високої врожайності можливе лише за науково обґрунтованої системи живлення, що передбачає раціональне використання добрив і підтримання родючості ґрунту.

1.3 Формування продуктивності залежно від застосування мікродобрив

Кукурудза є культурою з тривалим вегетаційним періодом і здатністю засвоювати елементи живлення протягом усього циклу розвитку. Крім макроелементів, вона потребує значної кількості мікроелементів, причому їх споживання змінюється залежно від фази зростання [28, 74, 99].

На формування 1 т зерна з відповідним кількістю побічної продукції гібриди різних груп стиглості в середньому використовують 24–30 кг азоту, 10–12 кг фосфору, 25–30 кг калію, 6–10 кг магнію і кальцію, 3–4 кг сірки, а також мікроелементи: бор (11 г) [96].

Позакореневе внесення мікродобрив підвищує біометричні показники рослин і сприяє покращенню якості врожаю. Такі обробки доцільно

проводити в критичні фази розвитку з урахуванням фізіологічних потреб культури, результатів агрохімічного аналізу та особливостей ґрунту та системи [69, 90].

За підсумками наукових досліджень з'ясовано, що найбільша потреба кукурудзи в елементах живлення припадає на фазу викидання волоті – початок цвітіння – і зберігається приблизно протягом місяця після його настання. За даними [155], культура особливо чутлива до забезпечення цинком і марганцем, дещо меншою мірою – міддю та бором. У зв'язку з цим застосування сучасних мікродобрив, що містять зазначені мікроелементи, є цілком обґрунтованим. Доведено [186], що проведення позакореневого підживлення мікродобривами позитивно впливає на ріст рослин (зокрема їх висоту та інші біометричні показники) і сприяє підвищенню якісних характеристик урожаю.

Ласло О. О., Олепір Р. В. показали [112], що кукурудза, окрім макроелементів, потребує достатнього забезпечення мікроелементами, інтенсивність засвоєння яких залежить від фази росту. Поєднання сечовино-аміачної суміші з «Авангард R Кукурудза» та «Мікро-Мінераліс (Кукурудза)» сприяє повнішій реалізації потенціалу гібриду ФАО 320 і підвищенню його продуктивності.

Найбільшу площу листкової поверхні зафіксовано за використання «Авангард R Кукурудза» – на 0,6 тис. м²/га більше за контроль; «Мікро-Мінераліс (Кукурудза)» забезпечив приріст 0,3 тис. м²/га. «Авангард R Кукурудза» також збільшував кількість качанів; маса качана перевищувала контроль на 5 г (у варіанті з «Мікро-Мінераліс (Кукурудза)» – на 2 г). Маса 1000 зерен у варіантах із мікродобривами була більшою на 7–9 г. Позакореневе підживлення сумішшю з мікродобривами покращувало біометричні показники та якість урожаю. Урожайність на контролі становила 8,3 т/га; застосування «Мікро-Мінераліс (Кукурудза)» підвищило її на 0,29 т/га, а «Авангард R Кукурудза» забезпечив максимальний приріст – 0,97 т/га.

Баган А. В., Улізько В. М. [120] доведено, що найефективнішим виявилося позакореневе підживлення кукурудзи у фазі 3–5 та 8–10 листків мікродобривом Greenplant Flow 20-20-20+ME. Його застосування позитивно впливало на біометричні показники рослин. Зокрема, висота рослин залежала від варіанта обробки та особливостей гібриду й перевищувала контроль на 6,5–8,5 см. Висота прикріплення качана також зростала – у середньому на 4–5 см порівняно з необробленими рослинами. Кількість листків змінювалася незначно (17,5–19,5 шт.), однак за комплексного підживлення перевищувала контроль на 1,0–1,5 листка.

Дефіцит мікроелементів у посівах кукурудзи зумовлює зниження врожайності щонайменше на 0,4–1,0 т/га (близько 10–12 %) [56, 87]. Водночас погіршуються якісні показники зерна – зменшується вміст сухої речовини, крохмалю, каротину та білка, а також знижується його життєздатність [57].

Урожайність є узагальнюючим критерієм оцінки результативності технології вирощування культури. Дослідження показали [92], що найвищий показник сформував гібрид Аякс – 10,3 т/га, що на 0,7 т/га перевищило варіант без підживлення. Такий приріст забезпечило позакореневе внесення препаратів «Нутрімікс» (1 т/га) та «Нутрібор» (0,5 кг/га) у поєднанні з мікродобривом «Мікро-Мінераліс (Кукурудза)» (1 л/га) у фазах 4 і 8 листків на фоні розрахункової норми мінерального живлення.

Дослідження засвідчили [96], що впровадження науково обґрунтованої системи мінерального живлення, яка передбачає комплексне використання макро- та мікроелементних добрив, дає змогу суттєво підвищити як рівень урожайності, так і якісні характеристики зерна кукурудзи. За таких умов приріст врожаю становить 0,35–0,62 т/га, вміст білка в зерні зростає на 7,7–8,2 %, крохмалю – на 0,32–0,40 %, а жиру – на 0,5–0,7 %.

Дослідженнями підтверджено високу чутливість зернової кукурудзи до забезпечення мікроелементами, що зумовлює необхідність їх обов'язкового застосування в технології вирощування культури. Ефективним прийомом є як передпосівна обробка насіння мікродобривами, так і проведення позакореневих підживлень упродовж вегетації, що нині розглядається як складова інтенсивних агротехнологій [165].

Упродовж онтогенезу посіви кукурудзи засвоюють у середньому близько 800 г/га марганцю, 350 г/га цинку, 70 г/га бору та 50–60 г/га міді. Найбільш лімітуючим мікроелементом для культури є цинк. Менш виражену, але важливу фізіологічну роль відіграють бор і мідь, тоді як на ґрунтах із лужною реакцією серед дефіцитних елементів особливого значення набуває марганець [115].

Басюк П. Л., Грабовський М. Б. [61] засвідчили, що мікродобрива та регулятори росту стимулюють ріст і покращують структуру рослин кукурудзи: підвищується висота, площа листкової поверхні та загальна маса. Висота збільшувалася до фази ВВСН 85, а максимальна площа листків формувалася до ВВСН 65. У фазі ВВСН 65 переважала вегетативна маса (стебло 68,5–70,1 %, листки 25,6–27,1 %), тоді як у ВВСН 85 домінував качан із зерном (понад 42 %). Застосування препаратів забезпечило приріст маси рослин на 0,6–2,9 %, листків – до 33,7 %, качана з зерном – до 2,4 % порівняно з контролем.

За даними досліджень Інституту землеробства НААН, проведених на чорноземах [67], застосування комплексного рідкого мікродобрива Вуксал на кукурудзі виявилося високоефективним. Найбільшу врожайність – 8,8 т/га – отримано за поєднання обробок Вуксал Борон (2,5 л/га у фазі 4–6 листків) та Вуксал Макромікс (4 л/га у фазі 8–10 листків). Це забезпечило приріст 1,1 т/га, або 14,3 %, порівняно

Дослідження Інституту сільського господарства степової зони НААН у північній підзоні Степу України (чорнозем звичайний малогумусний)

показали, що використання мікродобрив «Реаком» для обробки насіння зменшувало ураженість насіння і сходів на 56–71 % та підвищувало схожість з 93 до 97 %. Позакореневі підживлення у фазах 3–4 листків і викидання волоті забезпечили приріст урожаю на 0,8–1,0 т/га [100].

За результатами багаторічних дослідів Інституту рослинництва ім. Юр'єва НААН у Північному Степу України (чорнозем типовий, без зрошення), найвищу врожайність – 5,8 т/га – отримано за комплексного застосування мікродобрива «Наномікс-кукурудза» (обробка насіння 3 л/т + дворазове позакореневе підживлення 2+2 л/га) на фоні внесення карбаміду 10 кг/га при вирощуванні гібриду Харківська МСТ. Приріст урожаю становив 1,1 т/га (24,9 %) порівняно з контролем (4,6 т/га) [75].

У наукових працях Дудка М., Шевченко О. [90], Городній М. М. та Павлик Р. М. [76] встановлено істотний вплив позакореневих підживлень на формування площі листкового апарату та рівень чистої продуктивності фотосинтезу. Зокрема, використання мінеральних композицій, що містять макро- та мікроелементи, забезпечує збільшення площі листкової поверхні на 2,9 тис. м²/га – з 19,3 до 22,2 тис. м²/га. Водночас у фазі молочно-воскової стиглості кукурудзи зафіксовано підвищення максимальної чистої продуктивності фотосинтезу до 9,72 г/м² за добу.

Камінський В. Ф., Асанішвілі Н. М. [108] доведено, що на темно-сірому опідзоленому ґрунті за вирощування гібриду Гідний (ФАО 280) встановлено, що для продовольчого й кормового використання оптимальною є норма $N_{240}P_{120}K_{240}$ у поєднанні з гербіцидами, стимуляторами росту та позакореневими підживленнями Фолік Макро і Фолік Zn. Це забезпечило 12,1 т/га зерна з вмістом протеїну 10,56 % (1,28 т/га з гектара) і крохмалю 71,27 % (8,62 т/га). Для виробництва біоетанолу ефективнішою була норма $N_{180}P_{120}K_{180}$, що дала 9,76 т/га зерна, 72,26 % крохмалю та умовний вихід біоетанолу 3982 л/га.

У дослідженнях Філоненко С. В., Попов О. О. [184] на базі господарства «Флоріна» дворазове позакореневе підживлення Sunni Mix

(1 л/га у фази 3–5 і 7–9 листків) підвищило врожайність кукурудзи до 10,54 т/га (+32,1 % до контролю).

Ткаліч Ю. І. з авторами [182] досліджували вплив мікродобрив Оракул, Оракул мультикомплекс і Оракул біоцинк на посівах гібриду ДН Галатея. Встановлено, що інкрустація насіння препаратом Вимпел-К у поєднанні з позакореневими підживленнями у фази 3–5 та 7–8 листків підвищує польову схожість, посухо- і жаростійкість рослин та забезпечує приріст урожайності зерна кукурудзи на 12,1–14,5 % порівняно з контролем.

Встановлено [191], що максимальний результат урожайності зерна кукурудзи (13,24 т/га) отримано за внесення $N_{160}P_{120}K_{120}$ із позакореневим підживленням мікродобривами, 5 % карбамідом і 5 % сульфатом магнію, що на 1,05 т/га більше порівняно з варіантом без підживлення.

Найвищі показники (зокрема азоту – до 10,84 г/кг, а також фосфору, калію й цинку) отримано за дворазового позакореневого підживлення у фази 5–7 і 10–12 листків мікродобривом Еколист Моно Цинк, що свідчить про ефективність цинковмісних препаратів у зміні хімічного складу рослин [153].

Якісні показники зерна гібриду «Амеліор» змінювалися залежно від застосованих препаратів [58]. У контрольному варіанті вміст білка становив 8,5 %, крохмалю – 66,9 %, жиру – 3,5 %. Найвищі значення зафіксовано за внесення препарату Яра Віта Цинтрак на фоні Діамофоски (200 кг/га під оранку) та карбаміду (200 кг/га): білка – 9,5 %, крохмалю – 72,0 %, жиру – 5,2 %. Найнижчі показники серед удобрюваних варіантів відзначено за підживлення Грамітрелом – відповідно 9,0 %, 71,1 % і 4,3 %.

Встановлено [94], що урожайність кукурудзи суттєво залежала від застосованої технології вирощування та гібриду. Найвищі показники отримано за обробки посівів препаратом «Вітазим» (1 л/га) у фазу 7–9 листків на фоні повного мінерального удобрення; дещо нижчий результат (–0,2 т/га) забезпечило поєднання «Вітазиму» з 50 % норми

добрив, що свідчить про можливість часткової економії мінерального живлення. Серед гібридів найбільшу врожайність сформували Алекксандра (10,8 т/га) та Окксіжен (10,3 т/га), тоді як Дніпровський 310 МВ поступався їм (9,6 т/га). Застосування мінеральних добрив підвищувало вміст білка в зерні на 0,85–1,07 %, а додаткове використання «Вітазиму» сприяло його зростанню до 8,59–8,81 %, з максимальним значенням у гібриду Алекксандра (9,18 %). Вплив препарату на вміст крохмалю був невираженим, тоді як внесення добрив зумовлювало незначне зниження вмісту жиру порівняно з контролем.

Найвищий уміст крохмалю в зерні досліджуваних гібридів кукурудзи забезпечили позакореневі підживлення мікродобривами Еколист Моно Цинк і Росток кукурудза – відповідно 70,92–76,72 % та 71,45–76,72 %. Дворазове внесення Еколист Моно Цинк у поєднанні з бактеріальним препаратом Біомаг сприяло підвищенню виходу біоетанолу на 0,72–0,90 тис. л/га та збільшенню вмісту крохмалю на 1,18–1,85 % порівняно з контролем [124].

В умовах Лісостепу України передпосівна обробка насіння YaraVita Teprosyn NP+Zn (5 л/т) у поєднанні з обприскуванням у фазі 3–5 листків YaraVita Maize Boost (4 л/га) підвищувала врожайність зеленої та сухої маси на 1,2–3,8 %. Аналогічно, застосування YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т) разом із YaraVita Kombiphos (3 л/га) забезпечувало приріст 1,5–4,2 % порівняно з контролем [152].

Залежно від гібриду, доз макродобрив і використання мікродобрив урожайність зростала на 1,4–24,0 % [14]. У цілому внесення добрив підвищувало збір зеленої маси на 9,8–22,1 %, сухої – на 7,7–19,2 %, а за $N_{100}P_{80}K_{80}$ приріст становив відповідно 18,8 і 5,1 т/га [84].

За даними Каленської С. М. та Говенько Р. В., найвищий ефект від Гумілін Стимул (3 л/га) отримано при одноразовому підживленні у фазі 5–7 листків (ВВСН 15–17): середня врожайність за три роки становила 8,87 т/га у гібрида ЕС Конкорд і 8,56 т/га – у Астероїд [101].

Позакореневе внесення Plantonit Frumentum і Plantonit Grain підвищувало продуктивність на 5,4–6,0 % порівняно з $N_{60}P_{60}K_{60}$. Поєднання $N_{60}P_{60}K_{60}$ + Plantonit Grain забезпечувало приріст зерна 1,76–2,11 т/га, найбільший – у середньоранніх і середньостиглих гібридів (1,48–2,32 т/га) [83].

У Західному Лісостепу найефективнішим було підживлення у фазі 10 листків (ВВСН 20) мікродобривами, карбамідом і сульфатом магнію на фоні $N_{160}P_{80}K_{140}$, що забезпечило 13,24 т/га [193].

Найвищу врожайність зерна (8,18 т/га) в Лісостепу отримано за дворазового підживлення Моноцинк + Біомаг + Вимпел у фазах 5–7 і 10–12 листків у ранньостиглого гібрида; приріст становив 0,72–1,50 т/га залежно від групи стиглості [166].

Отже, результати наукових досліджень свідчать, що мікродобрива відіграють важливу роль у формуванні продуктивності кукурудзи. Їх застосування сприяє покращенню ростових процесів, збільшенню площі листкової поверхні, підвищенню інтенсивності фотосинтезу та формуванню більш високого врожаю. Найбільш ефективним є поєднання передпосівної обробки насіння з позакореневими підживленнями у критичні фази розвитку рослин. Комплексне використання макро- і мікроелементів забезпечує підвищення врожайності та покращення якісних показників зерна кукурудзи.

Результати огляду літератури висвітлено в працях [136, 5].

РОЗДІЛ 2
УМОВИ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Ґрунтово-кліматичні та погодні умови

Формування продуктивності кукурудзи визначається комплексною взаємодією природно-кліматичних умов і технологічних заходів її вирощування. Ґрунтові властивості, погодні чинники та елементи агротехнології безпосередньо впливають на перебіг ростових процесів, розвиток рослин і реалізацію їхнього генетичного потенціалу. Тому всебічне оцінювання складових технології вирощування дає змогу встановити чинники, які найбільшою мірою визначають формування врожайності зерна кукурудзи та його якісних показників у конкретних ґрунтово-кліматичних умовах регіону [169].

Дослідження щодо ефективності різних систем удобрення кукурудзи проводили на дослідному полі Уманського національного університету. Польовий експеримент було закладено в умовах стаціонарного досліду з короткоротаційною сівозміною, зареєстрованого в Реєстрі стаціонарних польових дослідів НААН України за № 87. Дослідне поле розташоване на північній околиці м. Умані Черкаської області, за географічними координатами 48°46′00″ пн. ш., 30°14′00″ сх. д. [180]. Згідно з природно-сільськогосподарським районуванням України, територія проведення досліджень належить до Маньківського району Середньо-Дніпровсько-Бузького округу Правобережного Лісостепу [149]. Лісостепова ґрунтово-кліматична зона України характеризується перехідним положенням між чорноземно-степовою та лісо-лучною природними зонами. У її межах виокремлюють Правобережно-Дніпровську, Лівобережно-Дніпровську та Прикарпатську підзони.

Правобережний Лісостеп є одним із найбільш сприятливих регіонів України для вирощування сільськогосподарських культур, що зумовлено

високою біологічною продуктивністю його природних ресурсів. Ґрунтовий покрив регіону сформувався переважно на лесах і лесовидних ґрунтоутворювальних породах та характеризується значною різноманітністю. Найбільш поширеними є чорноземи типові, частка яких становить 36,5 % території, та чорноземи опідзолені – 21,6 %. Ясно-сірі лісові ґрунти займають 3,8 %, сірі лісові – 11,3 %, темно-сірі опідзолені – 13,0 %, лучно-чорноземні – 2,8 %, а лучні ґрунти – 3,5 % території [167].

За особливостями рельєфу дослідне поле Уманського національного університету розташоване на переважно вирівняній поверхні з незначною висотною диференціацією. За результатами сканування приладом Інтера® Скан (Interra® Scan), абсолютні висотні відмітки в межах обстежених ділянок становили 226,00–229,69 м над рівнем моря, а середня висота – близько 227,9 м (рис. 2.1).

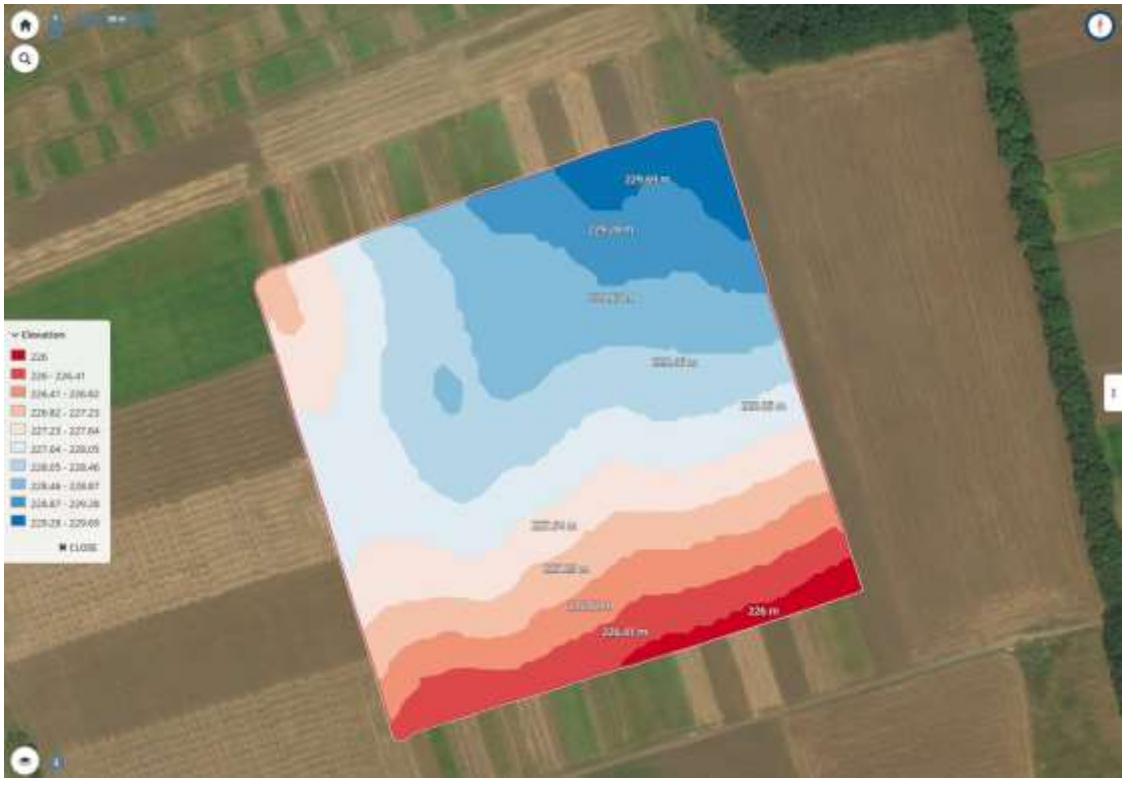


Рис. 2.1 – Карта висотного розподілу дослідного поля Уманського національного університету за результатами сканування приладом Interra® Scan: градуйована кольорова шкала відображає абсолютні висотні відмітки поверхні – від нижчих значень, позначених теплими кольорами, до вищих, позначених холодними.

Перепад висот не перевищував 3,7 м, що свідчить про слабко хвилястий характер рельєфу та незначний поверхневий стік талих і атмосферних вод. За таких умов небезпека ерозійних процесів є невисокою та може проявлятися переважно під час інтенсивних зливових опадів.

Рівень залягання підземних вод перевищує 20 метрів, тому вони не беруть істотної участі у водозабезпеченні сільськогосподарських культур. У сучасних умовах їхнього помітного впливу на формування ґрунтового профілю, а також на фізичні та агрохімічні властивості ґрунту не встановлено. В умовах регіону вологозабезпечення, особливо в останні десятиліття, є одним з основних лімітуючих чинників формування продуктивності кукурудзи та інших сільськогосподарських культур (рис. 2.2). Поповнення запасів ґрунтової вологи відбувається переважно за рахунок атмосферних опадів, що випадають в осінньо-зимово-весняний період.



Рисунок 2.2 – Річна сума та сезонний розподіл атмосферних опадів у 1991–2025 рр. для точки 48°46′00″ пн. ш., 30°14′00″ сх. д., за даними метеорологічної моделі ERA5T. Джерело: сформовано автором за матеріалами сервісу Meteoblue (https://www.meteoblue.com)

Ґрунтовий покрив дослідної ділянки представлений чорноземом опідзоленим, сформованим на лесовій ґрунтоутворювальній породі. За гранулометричним складом ґрунт є важкосуглинковим. Карбонатний горизонт залягає на глибині понад 60 см. Відповідно до міжнародної

класифікації ґрунтів WRB (2014), цей ґрунт віднесено до реферативної групи *Phaeozems* [168]. За генетичними ознаками та сукупністю морфологічних властивостей чорнозем опідзолений займає проміжне положення між чорноземом типовим і темно-сірим опідзоленим ґрунтом. З огляду на це результати, одержані у стаціонарному польовому досліді, можуть мати практичне значення для територій із близькими ґрунтовими та кліматичними умовами, зокрема для чорноземів типових і темно-сірих опідзолених ґрунтів.

Водночас можливість поширення встановлених закономірностей на інші типи та підтипи ґрунтів потребує врахування їхніх конкретних властивостей. Чорнозем опідзолений дослідної ділянки характеризується сприятливими фізико-хімічними й агрохімічними властивостями та загалом придатний для вирощування традиційних для регіону польових культур, зокрема кукурудзи. Реалізація потенціалу його родючості значною мірою визначається рівнем вологозабезпечення, температурним режимом, доступністю елементів мінерального живлення та дотриманням науково обґрунтованої технології вирощування. За оптимального поєднання цих чинників кукурудза на зазначеному ґрунті здатна формувати високу й стабільну врожайність зерна.

За даними метеорологічної станції Умань, розташованої приблизно за 2 км від стаціонарного досліду, клімат території характеризується як помірно континентальний із нестійким режимом зволоження. Зимовий період переважно холодний, а літній – теплий, нерідко з тривалими посушливими періодами. У межах Правобережного Лісостепу сума активних температур змінюється від 2400 °C у північній частині до 3200 °C у південній. Значення гідротермічного коефіцієнта істотно варіює залежно від року та періоду вегетації, проте за середніми багаторічними даними переважно становить 1,1–1,2.

Сукупність температурних показників і режиму атмосферних опадів дає підстави віднести територію проведення досліджень до зони нестійкого

зволоження. Середня багаторічна температура повітря найхолоднішого місяця – січня становить − 3,4 °С, тоді як найтеплішого – липня – 20,9 °С. Середньорічна температура повітря дорівнює 8,8 °С. Водночас дані метеорологічної станції Умань свідчать про значну міжрічну мінливість температурного режиму: в окремі роки середньомісячні та середньорічні температури повітря помітно відхиляються від середніх багаторічних значень.

Розподіл атмосферних опадів упродовж року характеризується вираженою нерівномірністю. У холодний період випадає в середньому 191 мм опадів, тоді як у теплий їх кількість зростає до 395 мм. Тривалість періоду із середньодобовою температурою повітря вище +5 °С може сягати 230 діб. Період активної вегетації, упродовж якого середньодобова температура перевищує +10 °С, залежно від погодних умов року триває 140–160 діб.

Гідротермічний коефіцієнт характеризується значною мінливістю як за роками, так і впродовж окремих періодів вегетації сільськогосподарських культур. Загальна тривалість вегетаційного періоду в регіоні становить близько 210 діб, тоді як період активної вегетації із середньодобовою температурою повітря понад +10 °С триває в середньому 165 діб.

Погодні умови в роки проведення досліджень істотно різнилися між собою та відхилялися від середніх багаторічних значень (табл. 2.1). У 2025 р. за період від появи сходів до фази 6–8 листків випало 113,0 мм опадів, від фази 6–8 листків до цвітіння –112,3 мм, а в період достигання зерна – 23,0 мм. У 2023 р. кількість опадів у зазначені періоди становила відповідно 58,2; 92,5 і 12,4 мм, тоді як у 2024 р. – 98,3; 17,9 і 17,7 мм.

Отже, найбільші відмінності між роками спостерігали в період від фази 6–8 листків до цвітіння кукурудзи: у 2024 р. кількість опадів була в 5,2 рази меншою, ніж у 2023 р., та в 6,3 рази меншою порівняно з 2025 р. В осінньо-зимовий період випало 300 мм опадів у 2023 р., 341 мм – у 2024 р.

і 265 мм – у 2025 р. Таким чином, умови атмосферного зволоження в роки досліджень характеризувалися значною мінливістю, особливо впродовж вегетації кукурудзи. Найбільшу кількість опадів у досліджувані фази зафіксовано у 2025 р., а найменшу – у 2024 р., що було зумовлено гострим дефіцитом опадів у період від фази 6–8 листків до цвітіння. У 2023 р. зволоження в цей період було достатнім, однак під час достигання зерна спостерігалася найменша серед досліджуваних років кількість опадів. Такі відмінності дали змогу оцінити вплив досліджуваних систем удобрення на ріст, розвиток і продуктивність кукурудзи за неоднакових умов вологозабезпечення.

Таблиця 2.1

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

Рік	Всього за рік/ середнє 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
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	487	33,5	62,3	55,0	29,8	14,9	89,5	56,2	41,8	56,5	17,9	17,7	12,1
2024/2025	565	99,4	45,1	61,0	12,4	7,8	12,5	26,9	101,8	11,2	112,3	23,0	51,8
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
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	11,5	11,7	4,6	-1,8	-1,6	4,2	4,5	13,0	15,3	21,2	24,3	23,1	19,7
2024/2025	10,0	10,8	2,6	0,4	2,1	-3,9	6,7	10,3	13,1	19,3	22,4	19,7	16,2
Відносна вологість повітря, %													
Середньобагаторічна	78	81	87	88	85	84	81	70	67	72	73	73	75
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
2024/2025	73	86	80	90	83	74	67	61	74	63	65	63	65

2.2 Методика проведення досліджень

Дослідження виконували у тривалому стаціонарному польовому досліді, закладеному у 2010 р. Дослід розгорнуто одночасно на чотирьох полях, що дає змогу щороку вирощувати всі культури зерно-просапної сівозміни та одержувати дані щодо їхньої врожайності за кожного варіанта удобрення. У сівозміні вирощували пшеницю озиму, кукурудзу, ячмінь ярий і сою. Схему стаціонарного польового досліду та розподіл мінеральних добрив між культурами сівозміни наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

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

Варіант досліду (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}
$P_{60}K_{80}$	$P_{60}K_{80}$	$P_{60}K_{110}$	$P_{60}K_{70}$	$P_{60}K_{60}$
$N_{110}K_{80}$	$N_{150}K_{80}$	$N_{160}K_{110}$	$N_{70}K_{70}$	$N_{60}K_{60}$
$N_{110}P_{60}$	$N_{150}P_{60}$	$N_{160}P_{60}$	$N_{70}P_{60}$	$N_{60}P_{60}$
$N_{55}P_{30}K_{40}$	$N_{75}P_{30}K_{40}$	$N_{80}P_{30}K_{55}$	$N_{35}P_{30}K_{35}$	$N_{30}P_{30}K_{30}$
$N_{110}P_{60}K_{80}$	$N_{150}P_{60}K_{80}$	$N_{160}P_{60}K_{110}$	$N_{70}P_{60}K_{70}$	$N_{60}P_{60}K_{60}$
$N_{110}P_{30}K_{40}$	$N_{150}P_{30}K_{40}$	$N_{160}P_{30}K_{55}$	$N_{70}P_{30}K_{35}$	$N_{60}P_{30}K_{30}$
$N_{110}P_{60}K_{40}$	$N_{150}P_{60}K_{40}$	$N_{160}P_{60}K_{55}$	$N_{70}P_{60}K_{35}$	$N_{60}P_{60}K_{30}$
$N_{110}P_{30}K_{80}$	$N_{150}P_{30}K_{80}$	$N_{160}P_{30}K_{110}$	$N_{70}P_{30}K_{70}$	$N_{60}P_{30}K_{60}$

Варіант $N_{110}P_{60}K_{80}$ прийнято за виробничий контроль. Середню

насиченість 1 га площі сівозміни мінеральними добривами в цьому варіанті розраховано з урахуванням повного компенсування винесення основних елементів живлення товарною частиною врожаю – зерном і насінням культур сівозміни. Схему досліду сформовано таким чином, щоб установити можливість зменшення доз окремих видів мінеральних добрив та визначити оптимальне співвідношення азоту, фосфору й калію. Варіанти розміщували послідовно у триразовій повторності. Загальна площа дослідної ділянки становила 36 м², облікова – 25 м². Відповідно до схеми досліду використовували аміачну селітру, суперфосфат гранульований і калій хлористий. Фосфорні та калійні добрива вносили восени під зяблевий обробіток ґрунту, а азотні – навесні під передпосівну культивацію; для пшениці озимої частину азотних добрив застосовували також у підживлення. Нетоварну частину врожаю культур сівозміни – солому та стебла – залишали на полі й використовували як органічне добриво.

Таблиця 2.3

Схема двофакторного польового досліду з вивчення ефективності внесення добрив (чинник А) під кукурудзу за позакореневого застосування Брексіл™ Мікс (чинник В)

Без позакореневого підживлення	Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га (ВВСН 15–16)	Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га (ВВСН 15–16) + 1,5 кг/га (ВВСН 30–31)
Без добрив (контроль)	Без добрив (контроль)	Без добрив (контроль)
N_{80}	N_{80}	N_{80}
N_{160}	N_{160}	N_{160}
$P_{60}K_{110}$	$P_{60}K_{110}$	$P_{60}K_{110}$
$N_{80}P_{30}K_{55}$	$N_{80}P_{30}K_{55}$	$N_{80}P_{30}K_{55}$
$N_{160}P_{60}K_{110}$	$N_{160}P_{60}K_{110}$	$N_{160}P_{60}K_{110}$

Дослід із вивчення ефективності позакореневого застосування Брексіл™ Мікс було закладено за двофакторною схемою у триразовій повторності. Фактор А включав шість фонів мінерального живлення, фактор В – три варіанти застосування препарату: дворазове внесення у фази ВВСН 15–16 і ВВСН 30–31, одноразове внесення у фазі ВВСН 15–16 та контроль без позакореневого підживлення. Отже, у кожній повторності було представлено 18 варіантів, а загальна кількість облікових ділянок становила 54. Площу дослідних та облікових ділянок визначали відповідно до параметрів стаціонарного досліду, наведених вище.

У межах стаціонарного досліду для вивчення ефективності позакореневого застосування Брексіл™ Мікс було відібрано шість фонів мінерального живлення: без добрив, N_{80}, N_{160}, $P_{60}K_{110}$, $N_{80}P_{30}K_{55}$ і $N_{160}P_{60}K_{110}$. Фони $N_{160}K_{110}$ і $N_{160}P_{60}$, передбачені загальною схемою стаціонарного досліду, до окремого двофакторного експерименту не включали. Це було зумовлено необхідністю обмежити обсяг дослідження та сформувати репрезентативний набір контрастних фонів, який охоплював контроль без добрив, варіанти з однокомпонентним азотним живленням, фосфорно-калійний фон, неповне та повне мінеральне удобрення. Такий добір забезпечив можливість оцінити ефективність одно- і дворазового застосування Брексіл™ Мікс за різного рівня забезпечення рослин основними елементами живлення.

У досліді використовували середньостиглий гібрид кукурудзи ДКС4014 (DEKALB, Bayer Crop Science) із показником ФАО 310, придатний для вирощування на зерно та силос. Гібрид належить до зубоподібного підвиду. Згідно з рекомендаціями виробника, оптимальна густота рослин перед збиранням становить 75–85 тис. рослин/га за достатнього та 65–75 тис. рослин/га за недостатнього вологозабезпечення [150].

Технологія вирощування кукурудзи в досліді відповідала загальноприйнятим для зони рекомендаціям, за винятком системи

удобрення, яка була фактором дослідження. У сівозміні кукурудзу вирощували після пшениці озимої. Після збирання попередника проводили дискування ґрунту на глибину 10–12 см, а потім – оранку на 28–30 см. Навесні здійснювали вирівнювання поверхні зяблевої оранки та передпосівну культивацію.

Система удобрення кукурудзи передбачала внесення фосфорних і калійних добрив під зяблеву оранку. Як фосфорне добриво використовували гранульований суперфосфат, як калійне – калій хлористий. Азотні добрива у формі аміачної селітри вносили навесні під передпосівну культивацію відповідно до схеми досліду. Усі добрива та агрохімікати, використані під час проведення досліджень, були дозволені до застосування на території України згідно з відповідним офіційним переліком. Сівбу кукурудзи проводили за температури ґрунту на глибині загортання насіння 10–12 °С сівалкою із шириною міжрядь 70 см. Фактична густота рослин перед збиранням становила: у 2023 р. – 88 тис. рослин/га, у 2024 р. – 84 тис. рослин/га, у 2025 р. – 85 тис. рослин/га. Насіння загортали на глибину 5–6 см.

Для позакореневого підживлення застосовували мікродобриво Брексіл™ Мікс (Brexil™ Mix) виробництва «Валагро» (Valagro SpA), Італія. Позакореневе підживлення проводили одноразово у фазі ВВСН 15–16 та дворазово – у фазах ВВСН 15–16 та ВВСН 30–31, відповідно до схеми досліду (табл. 2.3). Норма витрати робочого розчину становила 300 л/га. Брексіл™ Мікс застосовували як комплексне мікродобриво для листкового живлення рослин. До його складу входить магній – 6,0 %, бор – 1,2 %, залізо – 0,6 %, марганець – 0,7 %, цинк – 5,0 %, мідь – 0,8 % і молібден – 1,0 %. Норма внесення препарату за листкового застосування становила 1,5 кг/га. У методиці досліду мікродобриво розглядали як засіб оптимізації мікроелементного живлення рослин у періоди їх активного росту та формування продуктивності.

Дослідження проводили відповідно до загальноприйнятих методик

виконання польових дослідів [94]. Для встановлення особливостей росту, розвитку, формування врожайності та якості зерна кукурудзи здійснювали фенологічні спостереження, визначали густоту стояння рослин, проводили біометричні вимірювання та облік урожаю. Упродовж вегетації кукурудзи визначали такі показники: висоту рослин – вимірюванням десяти типових рослин у кожній обліковій ділянці; фізіологічний стан рослин у фазу цвітіння (ВВСН 67–69), зокрема: відносний вміст хлорофілу в листках оцінювали за значенням SPAD-індексу – за допомогою приладу SPAD-502 Plus (N-тестер, США); рівень стресового стану – з використанням флуориметра Plant Stress Kit (Chlorophyll Fluorometers, США); азотно-флавоноїдний індекс – багатопігментним вимірювачем MPM-100 (Multi-Pigment Meter, США); урожай зерна – розрахунковим методом за пробою 20 качанів відібраних з кожної облікової ділянки. Відбір проводили перед збиранням урожаю в межах облікової частини ділянки за діагональним маршрутом, рівномірно по її площі. До проби не включали рослини крайніх рядків, а також рослини з крайніх 0,5–1,0 м рядка, щоб уникнути впливу захисної зони. Качани відбирали з продуктивних рослин без попереднього оцінювання їх величини. Після обмолоту визначали масу зерна та його вологість. Урожайність зерна розраховували за середньою масою зерна з одного качана і фактичною густотою продуктивних рослин на ділянці з перерахунком до стандартної вологості 14 % [77]. Урожайність стебел наведено за вологості 25 %. Відношення урожаю стебел до врожаю зерна наведено за фактичної вологості продукції.

Аналітичні дослідження рослинних зразків виконували в лабораторних умовах із застосуванням стандартизованих методів і приладового забезпечення. Вологість рослинного матеріалу визначали термогравіметричним методом із використанням сушильної шафи Opti Control 3100 (Україна); на підставі отриманих даних розраховували вміст сухої речовини. Уміст загального азоту в рослинних зразках визначали

методом К'єльдаля на автоматичній дистиляційній установці UDK 149 (Velp Scientifica, Італія). Вміст фосфору та калію визначали після мокрої мінералізації зразків методом оптико-емісійної спектрометрії з індуктивно зв'язаною плазмою на спектрометрі Avio 200 (PerkinElmer, США). Цим самим методом після мокрої мінералізації визначали вміст сірки, магнію, марганцю та цинку. Вміст азоту, фосфору й калію виражали у відсотках, інших макро- та мікроелементів – у мг/кг абсолютно сухої маси. Показники якості зерна, зокрема вміст білка, крохмалю та жиру, визначали методом інфрачервоної спектроскопії згідно з ДСТУ 4117:2007 [88].

Відносне та господарське винесення елементів живлення наведено на абсолютно суху масу врожаю зерна та стебел кукурудзи. Частку елементів живлення визначали від суми господарського винесення азоту, калію, фосфору, магнію, сірки, мангану та цинку. Баланс основних елементів живлення у ґрунті розраховували за спрощеною методикою. Надходження азоту з насінням, атмосферними опадами та внаслідок його біологічної фіксації мікроорганізмами прирівнювали до природних втрат цього елемента, пов'язаних з ерозією, вимиванням і денітрифікацією. Вважали, що втрати фосфору та калію внаслідок ерозійних процесів і вимивання компенсуються надходженням цих елементів із насінням та атмосферними опадами [79].

Статистичну обробку експериментальних даних здійснювали окремо за кожний рік досліджень методом двофакторного дисперсійного аналізу з трьома повторностями. У статистичній моделі фактором А був фон мінерального живлення, представлений шістьма рівнями, фактором В – позакореневе застосування мікродобрива Брексіл™ Мікс, представлене трьома рівнями: дворазове застосування, одноразове застосування та контроль без позакореневого підживлення. Повторності розглядали як блоки. Оцінювали головні ефекти факторів А і В, а також їх взаємодію (А × В). Статистичну значущість впливу факторів визначали за рівня значущості $p \leq 0,05$. Для порівняння середніх значень варіантів досліду розраховували

найменшу істотну різницю ($НІР_{0,05}$). Розрахунки виконували з використанням програмного забезпечення Microsoft Excel (Microsoft, США).

Для оцінювання напряму та тісноти взаємозв'язку між досліджуваними показниками розраховували коефіцієнти кореляції. Напрям кореляційного зв'язку визначали за знаком коефіцієнта кореляції: додатний знак свідчив про прямий, від'ємний – про обернений зв'язок. Тісноту кореляційного зв'язку оцінювали за абсолютним значенням коефіцієнта кореляції |r| за шкалою R. E. Chaddock: 0,1–0,3 – слабкий; 0,3–0,5 – помірний; 0,5–0,7 – істотний; 0,7–0,9 – високий; 0,9–0,99 – дуже високий; |r| =1,0 – функціональний зв'язок.

Висновки до розділу

Ґрунтові умови проведення польових досліджень є типовими для Правобережного Лісостепу України. Чорнозем опідзолений, сформований на лесовій породі та за гранулометричним складом важкосуглинковий, характеризується сприятливими властивостями для вирощування зернових культур, зокрема кукурудзи.

Агрометеорологічні умови в роки проведення досліджень загалом відповідали характерним для регіону, хоча й відзначалися міжрічною мінливістю температурного режиму та кількості опадів. Це створило передумови для об'єктивного оцінювання впливу досліджуваних систем удобрення на поживний режим ґрунту, ріст і розвиток рослин, а також формування продуктивності кукурудзи.

Фенологічні спостереження, обліки, відбір зразків ґрунту та рослин і проведення лабораторних аналізів здійснювали відповідно до чинних національних стандартів і загальноприйнятих методик виконання польових та агрохімічних досліджень.

Технологія вирощування кукурудзи в досліді відповідала загальноприйнятій для умов Правобережного Лісостепу України, за

винятком систем удобрення, які були предметом експериментального вивчення.

Методична схема досліду передбачала використання різних співвідношень азотних, фосфорних і калійних добрив, що забезпечило можливість оцінити їхній окремий і комплексний вплив на продуктивність кукурудзи, показники якості зерна та використання елементів живлення.

РОЗДІЛ 3
ІНДЕКСИ ПРОДУКТИВНОСТІ РОСЛИН КУКУРУДЗИ ЗА РІЗНИХ СПОСОБІВ ВНЕСЕННЯ ДОБРИВ

3.1 Висота рослин

Фотосинтетичний процес, що відбувається в листках, а також у стеблах та інших зелених органах рослин, синтезує до 90–95 % органічних сполук у клітинах. Близько 80 % виробленого врожаю пшениці припадає на листки [129].

Площа листків пшениці залежить від низки абіотичних і біотичних чинників [132]. Так, встановлено [44], що площа верхівкового листка, а також його довжина і ширина збільшувалися зі зменшенням густоти стояння рослин пшениці. Площа і ширина верхівкового листка залежно від висоти рослин зменшувалися, а довжина збільшувалася. Збільшення площі верхівкового листка безпосередньо впливало на накопичення сухої маси рослин (r = 0,53), формування загальної асиміляційної поверхні рослин (r = 0,72), а також на довжину колосу (r = 0,75). Тому дослідження формування площі листкової поверхні різних сортів пшениці твердої озимої є актуальними.

Від швидкості розвитку та динаміки формування оптимальної площі листкової поверхні залежить життєздатність та активне функціонування листкового апарату [119]. Розмір і просторова структура листя визначають кількість енергії, яку поглинає культура, можливу біологічну врожайність і загальну транспірацію [124].

У зернових культурах нижні листки рослин відіграють важливу роль на перших етапах розвитку у формуванні кореневої системи і колосу. В асиміляційній роботі рослини під час наливу зерна вирішальне значення мають листки верхніх ярусів [10]. Кількість і розміри листків, тривалість їх функціонування, величина чистої продуктивності фотосинтезу

безпосередньо впливають на величину накопичення сухої речовини. Біологічні, природні та агротехнічні чинники змінюють продуктивність пшениці, впливаючи насамперед на показники фотосинтезу [121].

Низка вчених [13] стверджують, що під час наливу зерна висока облистленість може знизити здатність рослин протистояти високим температурам повітря і знизити жаростійкість рослин. У зв'язку з цим посухостійкі генотипи не мають дуже високої площі листків. Встановлено прямий кореляційний зв'язок між площею листка та масою 1000 зерен (r = 0,98) і кількістю зерна (r = 0,96) [13]. Інші дослідники [3, 52] таких зв'язків не спостерігали. Математичний аналіз показує позитивну кореляцію між урожайністю та площею листкової поверхні, яка коливалася від сильного до середнього значення (від r = 0,98 до r = 0,45).

У дослідженнях [27] листковий індекс у період колосіння пшениці м'якої озимої змінювався від 4,4 до 5,4 залежно від сорту. Необхідно відзначити, що цей показник змінювався від 7 до 11 % залежно від погодних умов року проведення досліджень. В інших дослідженнях [41] площа листків була від 35,6 до 42,5 тис. $м^2$/га залежно від сорту.

Результати досліджень свідчать, що висота рослин кукурудзи найбільше змінювалась від застосування добрив, ніж від позакореневого підживлення мікродобривами (табл. 3.1). Так, на ділянках без добрив висота рослин була 266–290 см і зростала до 271–297 см на азотних системах удобрення залежно від року проведення дослідження. Застосування повного мінерального добрива підвищувало рослини кукурудзи до 281–302 см. Найменше на цей показник впливало застосування фосфорних і калійних добрив.

Таблиця 3.1

Висота рослин кукурудзи у повній стиглості за різних способів удобрення, см

Варіант досліду (чинник А)		Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
		2023	2024	2025	
Без позакореневого підживлення (чинник В)					
Без добрив (контроль)		290	266	287	281
N_{80}		294	271	290	285
N_{160}		297	277	295	290
$P_{60}K_{110}$		284	266	290	280
$N_{80}P_{30}K_{55}$		297	281	294	291
$N_{160}P_{60}K_{110}$		302	291	299	297
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)		291	265	285	280
N_{80}		294	270	290	285
N_{160}		296	277	294	289
$P_{60}K_{110}$		283	267	291	280
$N_{80}P_{30}K_{55}$		297	283	294	291
$N_{160}P_{60}K_{110}$		304	294	298	299
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)		289	268	286	281
N_{80}		294	271	292	286
N_{160}		298	278	297	291
$P_{60}K_{110}$		285	268	290	281
$N_{80}P_{30}K_{55}$		298	283	295	292
$N_{160}P_{60}K_{110}$		303	295	301	300
$НІР_{05}$	А	8	6	7	–
	В	7	6	6	–

3.2 Індекси продуктивності

Застосування добрив з азотною складовою достовірно підвищувало вміст хлорофілу в листках кукурудзи упродовж усіх років досліджень (табл. 3.2). У середньому за три роки досліджень вміст хлорофілу зростав від 45,0 до 52,3 % залежно від варіанту досліду або на 16 % без застосування позакореневого підживлення. Застосування препарату Brexil

Мix 1,5 кг/га підвищувало вміст хлорофілу до 45,6–54,4 % або на 1–3 % порівняно з ділянками без позакореневого підживлення. За умови дворазового застосування цього препарату цей показник зростав до 46,3–53,9 % або на 2–3 % порівняно з ділянками без позакореневого підживлення, проте був на рівні ділянок з одноразовим застосуванням Brexil Mix 1,5 кг/га.

Таблиця 3.2

Вміст хлорофілу в листках кукурудзи у фазу ВВСН60 за показниками приладу SPAD-502 Plus (N тестер) залежно від різних способів удобрення, од. п.

Варіант досліду (чинник А)		Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
		2023	2024	2025	
Без позакореневого підживлення (чинник В)					
Без добрив (контроль)		44,3	45,2	45,6	45,0
N_{80}		50,4	51,6	51,3	51,1
N_{160}		49,7	50,6	51,9	50,7
$P_{60}K_{110}$		43,8	43,1	44,2	43,7
$N_{80}P_{30}K_{55}$		51,3	52,6	52,9	52,3
$N_{160}P_{60}K_{110}$		52,1	52,9	53,1	52,7
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)		45,2	45,7	45,9	45,6
N_{80}		51,8	52,0	52,4	52,1
N_{160}		52,3	53,8	53,1	53,1
$P_{60}K_{110}$		44,7	42,7	42,6	43,3
$N_{80}P_{30}K_{55}$		52,3	52,1	53,2	52,5
$N_{160}P_{60}K_{110}$		53,7	55,5	54,1	54,4
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)		45,9	46,7	46,2	46,3
N_{80}		49,7	52,6	52,9	51,7
N_{160}		52,4	53,2	53,7	53,1
$P_{60}K_{110}$		44,9	43,4	43,2	43,8
$N_{80}P_{30}K_{55}$		51,8	52,1	52,8	52,2
$N_{160}P_{60}K_{110}$		53,4	54,9	53,3	53,9
$НІР_{05}$	А	1,4	1,5	1,4	–
	В	1,2	1,3	1,2	–

Не впливало на вміст хлорофілу застосування фосфорних і калійних добрив як на тлі застосування, так і без застосування позакореневого підживлення.

Необхідно відзначити, що достовірної різниці між азотними системами і повним мінеральним добривом встановлено не було впродовж років досліджень. Крім цього, вміст хлорофілу був майже однаковим залежно від років проведення досліджень.

Рівень стресу рослин мало змінювався порівняно з ділянками, де застосовували добрива (табл. 3.3). Крім цього, цей показник був майже на однаковому рівні впродовж років досліджень. Так, у варіантів без добрив рівень стресу був на рівні 0,732 од. п., а за внесення добрив – 0,750–0,752 од. п. на тлі без застосування позакореневого підживлення. Застосування позакореневого підживлення достовірно не впливало на формування цього показника.

Достовірно зростав азотно-флавоноїдний індекс листків кукурудзи за внесення добрив з азотною складовою та позакореневими підживленнями (табл. 3.4). Так, на тлі внесення лише повного мінерального добрива азотно-флавоноїдний індекс зростав до 1,90–2,17 од. п. або на 28–46 % порівняно з контрольним варіантом. Одноразове позакореневе підживлення забезпечувало формування азотно-флавоноїдного індексу до 2,00–2,53 од. п. проти 1,59 од. п. на контролі. За умови дворазового позакореневого підживлення азотно-флавоноїдний індекс зростав від 1,61 до 2,35–2,68 од. п.

При цьому спостерігався синергізм за внесення азотних добрив на тлі фосфорних і калійних. Крім цього, цей показник мало змінювався від року проведення досліджень.

Таблиця 3.3

Рівень стресу рослин кукурудзи у фазу ВВСН60 за показниками приладу Plant Stress Kit залежно від різних способів удобрення, од. п.

Варіант досліду (чинник А)		Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
		2023	2024	2025	
Без позакореневого підживлення (чинник В)					
Без добрив (контроль)		0,728	0,736	0,731	0,732
N_{80}		0,748	0,753	0,749	0,750
N_{160}		0,750	0,751	0,751	0,751
$P_{60}K_{110}$		0,721	0,728	0,723	0,724
$N_{80}P_{30}K_{55}$		0,751	0,756	0,750	0,752
$N_{160}P_{60}K_{110}$		0,750	0,753	0,753	0,752
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)		0,742	0,754	0,746	0,747
N_{80}		0,751	0,758	0,755	0,755
N_{160}		0,749	0,745	0,752	0,749
$P_{60}K_{110}$		0,740	0,748	0,744	0,744
$N_{80}P_{30}K_{55}$		0,754	0,761	0,751	0,755
$N_{160}P_{60}K_{110}$		0,757	0,759	0,749	0,755
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)		0,743	0,751	0,749	0,748
N_{80}		0,752	0,752	0,753	0,752
N_{160}		0,753	0,758	0,755	0,755
$P_{60}K_{110}$		0,748	0,750	0,745	0,748
$N_{80}P_{30}K_{55}$		0,753	0,760	0,752	0,755
$N_{160}P_{60}K_{110}$		0,755	0,754	0,756	0,755
$НІР_{05}$	А	0,018	0,019	0,017	–
	В	0,019	0,020	0,018	–

Таблиця 3.4

Азотно-флавоноїдний індекс кукурудзи у фазу ВВСН60 за показниками приладу МРМ-100 залежно від різних способів удобрення, од. п.

Варіант досліду (чинник А)		Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
		2023	2024	2025	
Без позакореневого підживлення (чинник В)					
Без добрив (контроль)		1,49	1,57	1,42	1,49
N_{80}		1,88	2,02	1,80	1,90
N_{160}		1,97	2,23	1,92	2,04
$P_{60}K_{110}$		1,47	1,49	1,41	1,46
$N_{80}P_{30}K_{55}$		1,92	2,18	1,90	2,00
$N_{160}P_{60}K_{110}$		2,07	2,34	2,10	2,17
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)		1,58	1,65	1,55	1,59
N_{80}		1,95	2,12	1,92	2,00
N_{160}		2,08	2,35	2,11	2,18
$P_{60}K_{110}$		1,51	1,44	1,54	1,50
$N_{80}P_{30}K_{55}$		2,03	2,21	2,09	2,11
$N_{160}P_{60}K_{110}$		2,37	2,80	2,41	2,53
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)		1,61	1,63	1,59	1,61
N_{80}		2,13	2,71	2,22	2,35
N_{160}		2,31	2,79	2,42	2,51
$P_{60}K_{110}$		1,60	1,63	1,57	1,60
$N_{80}P_{30}K_{55}$		2,25	2,57	2,36	2,39
$N_{160}P_{60}K_{110}$		2,57	2,83	2,64	2,68
$НІР_{05}$	А	0,06	0,07	0,06	–
	В	0,07	0,06	0,06	–

Отже, вміст хлорофілу та азотно-флавоноїдний індекс достовірно зростають від застосування повного мінерального добрива. При цьому рівень стресу рослин кукурудзи мало змінюється від застосування добрив. Необхідно відзначити, що азотно-флавоноїдний індекс також достовірно зростає від позакореневого підживлення препаратом Brexil Mix. Вміст хлорофілу зростає в меншій мірі, а рівень стресу майже не змінюється при цьому.

У результаті проведених досліджень встановлено, що:

Висота рослин кукурудзи найбільше змінювалась від застосування добрив, ніж від позакореневого підживлення мікродобривами. Так, на ділянках без добрив висота рослин була 266–290 см і зростала до 271–297 см на азотних системах удобрення залежно від року проведення дослідження. Застосування повного мінерального добрива підвищувало рослини кукурудзи до 281–302 см. Найменше на цей показник впливало застосування фосфорних і калійних добрив.

Застосування добрив з азотною складовою достовірно підвищувало вміст хлорофілу в листках кукурудзи упродовж усіх років досліджень. У середньому за три роки досліджень вміст хлорофілу зростав від 45,0 до 52,3 % залежно від варіанту досліду або на 16 % без застосування позакореневого підживлення. Застосування препарату Brexil Mix 1,5 кг/га підвищувало вміст хлорофілу до 45,6–54,4 % або на 1–3 % порівняно з ділянками без позакореневого підживлення. За умови дворазового застосування цього препарату цей показник зростав до 46,3–53,9 % або на 2–3 % порівняно з ділянками без позакореневого підживлення, проте був на рівні ділянок з одноразовим застосуванням Brexil Mix 1,5 кг/га.

Рівень стресу рослин мало змінювався порівняно з ділянками, де застосовували добрива. Крім цього, цей показник був майже на однаковому рівні впродовж років досліджень. Достовірно зростав азотно-флавоноїдний індекс листків кукурудзи за внесення добрив з азотною складовою та позакореневими підживленнями. Так, на тлі внесення лише повного мінерального добрива азотно-флавоноїдний індекс зростав до 1,90–2,17 од. п. або на 28–46 % порівняно з контрольним варіантом. Одноразове позакореневе підживлення забезпечувало формування азотно-флавоноїдного індексу до 2,00–2,53 од. п. проти 1,59 од. п. на контролі. За

умови дворазового позакореневого підживлення азотно-флавоноїдний індекс зростав від 1,61 до 2,35–2,68 од. п.

Результати досліджень висвітлено в праці [117].

РОЗДІЛ 4
ПРОДУКТИВНІСТЬ КУКУРУДЗИ ЗА РІЗНИХ СПОСОБІВ ВНЕСЕННЯ ДОБРИВ

Надмірне удобрення призводить до надлишку поживних речовин, зниження ефективності використання добрив і погіршення родючості та продуктивності ґрунту, що потенційно негативно впливає на якість врожаю [127]. Крім того, тривале внесення добрив часто призводить до підкислення ґрунту, зниження частки і вмісту органічного вуглецю в великих агрегатах ґрунту, збільшення викидів парникових газів і забруднення води, що створює зростаючі екологічні ризики [24]. Неправильне внесення добрив також може негативно вплинути на поживну якість сільськогосподарських культур, що відображається у зниженні концентрації білка та незбалансованому профілі амінокислот, що вимагає додавання до раціону [123].

Хоча азотні добрива можуть підвищити врожайність, було показано, що надмірне внесення азоту перешкоджає накопиченню незамінних амінокислот у зерні [126]. Польові випробування на різних генотипах та в різних середовищах показали, що внесення фосфору суттєво не впливає на склад жирних кислот або вміст токоферолу в зернах кукурудзи [54]. Натомість було виявлено, що внесення калію знижує вміст білка, одночасно збільшуючи концентрацію олії в насінні сої [45].

Незбалансоване або надмірне внесення добрив може погіршити якість врожаю, тоді як відповідні стратегії удобрення можуть покращити поживну цінність кукурудзи [53]. Як вирішальний компонент у виробництві кукурудзи, хімічні добрива історично відігравали центральну роль у підвищенні врожайності. Однак, зростаючі негативні наслідки їх неправильного застосування більше не можна ігнорувати [133]. Оптимізація управління поживними речовинами для підтримки високої врожайності та одночасного покращення якості врожаю є важливою для

досягнення високоякісного виробництва кукурудзи [49].

Хоча численні дослідження досліджували взаємозв'язок між удобренням і врожайністю та якістю кукурудзи, більшість з них базуються на окремих польових експериментах, які, як правило, відображають лише локалізовані закономірності та результати [128].

Враховуючи величезну протяжність основних районів виробництва кукурудзи існує значна мінливість природних умов. Таким чином, результатів випробувань в одному місці недостатньо для узагальнення ефектів удобрення в регіональному масштабі, а комплексні дослідження, що розглядають загальний взаємозв'язок між удобренням, врожайністю та якістю в цьому регіоні, залишаються обмеженими [26].

Було проведено численні дослідження щодо удобрення. Наприклад, вчені продемонстрували, що внесення азоту позитивно впливає на врожайність сільськогосподарських культур і потенціал глобального потепління, водночас збільшуючи викиди парникових газів [78]. Інші вчені [15] повідомили, що внесення азоту в кількості 215 кг/га було найефективнішим для підвищення як врожайності, так й ефективності використання води [55]. Однак, мало досліджень систематично оцінювали синергетичний ефект удобрення, а саме одночасне покращення як врожайності кукурудзи, так і якості зерна, в різних екологічних та управлінських умовах.

Урожайність зерна кукурудзи найбільше збільшувалась від застосування повного мінерального добрива (табл. 4.1). Так, у середньому за три роки досліджень урожайність підвищувалась від 11,60 до 14,30–15,83 т/га без позакореневого підживлення або на 26–36 %. При цьому на фосфорно-калійній системі врожайність збільшувалась до 14,04 т/га або на 4 % порівняно з контролем. Застосування повного мінерального добрива збільшувало врожайність на 1–5 % порівняно з азотними системами удобрення.

Урожайність змінювалась залежно від року проведення досліджень.

так, у 2023 і 2025 рр. цей показник був найвищим – 12,21–16,44 т/га залежно від варіанту досліду. У 2024 р. врожайність була в межах 9,78–14,83 т/га. При цьому описана тенденція впливу удобрення на врожайність зерна була подібною.

Таблиця 4.1

Урожайність зерна кукурудзи за різних способів удобрення, т/га

Варіант досліду (чинник А)		Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
		2023	2024	2025	
Без позакореневого підживлення (чинник В)					
Без добрив (контроль)		12,21	9,78	12,81	11,60
N_{80}		15,31	13,45	14,14	14,30
N_{160}		16,02	14,67	16,30	15,66
$P_{60}K_{110}$		13,09	10,13	12,90	12,04
$N_{80}P_{30}K_{55}$		15,81	14,11	15,21	15,04
$N_{160}P_{60}K_{110}$		16,22	14,83	16,44	15,83
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)		12,32	9,99	12,93	11,75
N_{80}		15,51	13,74	14,31	14,52
N_{160}		16,23	15,01	16,51	15,92
$P_{60}K_{110}$		13,19	10,35	13,02	12,19
$N_{80}P_{30}K_{55}$		16,04	14,41	15,41	15,29
$N_{160}P_{60}K_{110}$		16,46	15,18	16,65	16,10
Без добрив (контроль)		12,32	10,00	12,92	11,75
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га					
N_{80}		15,51	13,74	14,32	14,52
N_{160}		16,22	15,02	16,52	15,92
$P_{60}K_{110}$		13,21	10,34	13,01	12,19
$N_{80}P_{30}K_{55}$		16,03	14,41	15,42	15,29
$N_{160}P_{60}K_{110}$		16,45	15,17	16,66	16,09
$НІР_{05}$	А	0,41	0,37	0,42	–
	В	0,22	0,19	0,23	–

Застосування препарату Brexil Mix одноразово та дворазово достовірно не збільшувало врожайності зерна кукурудзи. Так, урожайність збільшувалась до 11,75–16,10 т/га залежно від варіанту досліду або на 1–2 % порівняно з ділянками без позакореневого підживлення. При цьому

описана тенденція зберігалась упродовж років проведення досліджень.

Вміст білка в зерні найбільше зростав від застосування азотних добрив (табл. 4.2). Так, вміст білка зростав від 6,7 до 8,2–9,0 % за внесення повного мінерального добрива. При цьому на фосфорно-калійній системі вміст білка був на рівні 6,5 %. Вміст білка коливався за роки проведення досліджень. У 2024 р. цей показник змінювався від 6,3 до 10,2 %, у 2023 р. – від 7,4 до 9,4, а в 2025 р. – від 6,5 до 7,5 % залежно від варіанту досліду.

Таблиця 4.2

Вміст білка в зерні кукурудзи за різних способів удобрення, %

Варіант досліду (чинник А)		Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
		2023	2024	2025	
Без позакореневого підживлення (чинник В)					
Без добрив (контроль)		7,4	6,3	6,5	6,7
N_{80}		9,1	8,5	7,1	8,2
N_{160}		9,3	9,0	7,4	8,6
$P_{60}K_{110}$		7,5	6,1	6,0	6,5
$N_{80}P_{30}K_{55}$		9,2	8,9	7,3	8,5
$N_{160}P_{60}K_{110}$		9,4	10,2	7,5	9,0
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)		7,4	6,1	6,4	6,6
N_{80}		9,1	8,2	7,2	8,2
N_{160}		9,4	8,5	7,4	8,4
$P_{60}K_{110}$		7,4	6,0	6,2	6,5
$N_{80}P_{30}K_{55}$		9,2	8,5	7,4	8,4
$N_{160}P_{60}K_{110}$		9,3	9,8	7,5	8,9
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)		7,5	6,1	6,5	6,7
N_{80}		9,2	8,1	7,2	8,2
N_{160}		9,4	8,4	7,3	8,4
$P_{60}K_{110}$		7,4	6,1	6,3	6,6
$N_{80}P_{30}K_{55}$		9,3	8,6	7,3	8,4
$N_{160}P_{60}K_{110}$		9,4	9,9	7,4	8,9
$НІР_{05}$	А	0,3	0,2	0,3	–
	В	0,2	0,1	0,2	–

Необхідно відзначити, що позакореневі підживлення препаратом Brexil Mix не впливали на вміст білка в зерні кукурудзи упродовж усіх років досліджень.

Внесення повного мінерального добрива значно збільшувало збір білка з урожаю зерна кукурудзи (табл. 4.3). Азотні системи удобрення забезпечували збільшення збору білка від 784 до 1180–1339 кг/га або на 50–71 %. Внесення повного мінерального добрива збільшувало збір білка до1274–1423 кг/га або на 63–82 % порівняно з контролем, або на 6–8 % порівняно з азотними системами. Найменше на збір білка впливало застосування фосфорних і калійних добрив.

Таблиця 4.3

Збір білка з урожаю зерна кукурудзи за різних способів удобрення, кг/га

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
	2023	2024	2025	
Без позакореневого підживлення (чинник В)				
Без добрив (контроль)	904	616	833	784
N_{80}	1393	1143	1004	1180
N_{160}	1490	1320	1206	1339
$P_{60}K_{110}$	982	618	774	791
$N_{80}P_{30}K_{55}$	1455	1256	1110	1274
$N_{160}P_{60}K_{110}$	1525	1513	1233	1423
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га				
Без добрив (контроль)	912	609	828	783
N_{80}	1411	1127	1030	1189
N_{160}	1526	1276	1222	1341
$P_{60}K_{110}$	976	621	807	801
$N_{80}P_{30}K_{55}$	1476	1225	1140	1280
$N_{160}P_{60}K_{110}$	1531	1488	1249	1422
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га				
Без добрив (контроль)	924	610	840	791
N_{80}	1427	1113	1031	1190
N_{160}	1525	1262	1206	1331
$P_{60}K_{110}$	978	631	820	809
$N_{80}P_{30}K_{55}$	1491	1239	1126	1285
$N_{160}P_{60}K_{110}$	1546	1502	1233	1427

Збір білка в 2023 і 2024 рр. був більшим порівняно з 2025 р. Застосування препарату Brexil Mix найменше впливало на збільшення збору білка.

Урожайність стебел кукурудзи також значно залежало від удобрення рослин (табл. 4.4). Так, у варіанті без добрив урожайність становила 16,73–17,07 т/га залежно від позакореневого підживлення. Застосування повного мінерального добрива забезпечувало збільшення цього показника до 27,67–28,31 т/га або на 65–66 %.

Таблиця 4.4

Урожайність стебел кукурудзи за різних способів удобрення, т/га

Варіант досліду (чинник А)		Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
		2023	2024	2025	
Без позакореневого підживлення (чинник В)					
Без добрив (контроль)		16,73	13,99	19,47	16,73
N_{80}		21,74	19,50	21,92	21,05
N_{160}		24,67	29,19	25,43	26,43
$P_{60}K_{110}$		18,33	14,18	19,35	17,29
$N_{80}P_{30}K_{55}$		23,40	20,88	24,18	22,82
$N_{160}P_{60}K_{110}$		26,28	30,25	26,47	27,67
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)		16,76	14,39	19,78	16,97
N_{80}		22,02	19,92	22,18	21,38
N_{160}		24,99	29,72	25,76	26,82
$P_{60}K_{110}$		18,60	14,70	19,66	17,65
$N_{80}P_{30}K_{55}$		23,90	21,33	24,35	23,19
$N_{160}P_{60}K_{110}$		26,83	31,12	26,97	28,31
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)		17,00	14,30	19,90	17,07
N_{80}		22,18	20,06	22,34	21,53
N_{160}		24,98	29,89	26,27	27,05
$P_{60}K_{110}$		18,76	14,58	19,78	17,70
$N_{80}P_{30}K_{55}$		23,72	21,47	24,52	23,24
$N_{160}P_{60}K_{110}$		26,48	30,80	26,66	27,98
$НІР_{05}$	А	0,63	0,71	0,65	–
	В	0,60	0,68	0,64	–

Необхідно відзначити, що врожайність стебел значно змінювалась від року проведення досліджень на неудобрених ділянках. При цьому застосування добрив із азотною складовою знижували рівень коливання цього показника.

Відношення маси стебел до зерна кукурудзи також зростало від застосування добрив, особливо з азотною складовою (табл. 4.5). При цьому цей показник дещо змінювався впродовж років досліджень.

Таблиця 4.5

Відношення врожаю стебел до зерна кукурудзи за різних способів удобрення

Варіант досліду (чинник А)		Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
		2023	2024	2025	
Без позакореневого підживлення (чинник В)					
Без добрив (контроль)		1,37	1,43	1,52	1,44
N_{80}		1,42	1,45	1,55	1,47
N_{160}		1,54	1,99	1,56	1,70
$P_{60}K_{110}$		1,40	1,40	1,50	1,43
$N_{80}P_{30}K_{55}$		1,48	1,48	1,59	1,52
$N_{160}P_{60}K_{110}$		1,62	2,04	1,61	1,76
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)		1,36	1,44	1,53	1,44
N_{80}		1,42	1,45	1,55	1,47
N_{160}		1,54	1,98	1,56	1,69
$P_{60}K_{110}$		1,41	1,42	1,51	1,45
$N_{80}P_{30}K_{55}$		1,49	1,48	1,58	1,52
$N_{160}P_{60}K_{110}$		1,63	2,05	1,62	1,77
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)		1,38	1,43	1,54	1,45
N_{80}		1,43	1,46	1,56	1,48
N_{160}		1,54	1,99	1,59	1,71
$P_{60}K_{110}$		1,42	1,41	1,52	1,45
$N_{80}P_{30}K_{55}$		1,48	1,49	1,59	1,52
$N_{160}P_{60}K_{110}$		1,61	2,03	1,60	1,75
$НІР_{05}$	А	0,04	0,05	0,04	–
	В	0,03	0,03	0,04	–

Необхідно відзначити, що частка зерна в надземній масі кукурудзи від застосування добрив з азотною складовою знижувалась (табл. 4.6). Не впливало на цей показник застосування фосфорних і калійних добрив.

Таблиця 4.6

Частка зерна в урожаї надземної маси кукурудзи за різних способів удобрення, %

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
	2023	2024	2025	
Без позакореневого підживлення (чинник В)				
Без добрив (контроль)	42,2	41,2	39,7	41,0
N_{80}	41,3	40,8	39,2	40,5
N_{160}	39,4	33,4	39,1	37,3
$P_{60}K_{110}$	41,7	41,7	40,0	41,1
$N_{80}P_{30}K_{55}$	40,3	40,3	38,6	39,8
$N_{160}P_{60}K_{110}$	38,2	32,9	38,3	36,5
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га				
Без добрив (контроль)	42,4	41,0	39,5	41,0
N_{80}	41,3	40,8	39,2	40,5
N_{160}	39,4	33,6	39,1	37,3
$P_{60}K_{110}$	41,5	41,3	39,8	40,9
$N_{80}P_{30}K_{55}$	40,2	40,3	38,8	39,7
$N_{160}P_{60}K_{110}$	38,0	32,8	38,2	36,3
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га				
Без добрив (контроль)	42,0	41,2	39,4	40,8
N_{80}	41,2	40,7	39,1	40,3
N_{160}	39,4	33,4	38,6	37,1
$P_{60}K_{110}$	41,3	41,5	39,7	40,8
$N_{80}P_{30}K_{55}$	40,3	40,2	38,6	39,7
$N_{160}P_{60}K_{110}$	38,3	33,0	38,5	36,6

Необхідно відзначити про незначні зміни у частці зерна впродовж років проведення досліджень. При цьому частка зерна в урожаї була на рівні 32,8–42,2 % залежно від варіанту досліду. Це свідчить про значну роль листостеблової маси у формуванні рівня врожаю зерна.

Результати проведених досліджень свідчать, що:

Урожайність зерна кукурудзи найбільше збільшувалась від застосування повного мінерального добрива. Так, у середньому за три роки досліджень урожайність підвищувалась від 11,60 до 14,30–15,83 т/га без позакореневого підживлення або на 26–36 %. При цьому на фосфорно-калійній системі врожайність збільшувалась до 14,04 т/га або на 4 % порівняно з контролем. Застосування повного мінерального добрива збільшувало врожайність на 1–5 % порівняно з азотними системами удобрення.

Застосування препарату Brexil Mix одноразово та дворазово достовірно не збільшувало врожайності зерна кукурудзи. Так, урожайність збільшувалась до 11,75–16,10 т/га залежно від варіанту досліду або на 1–2 % порівняно з ділянками без позакореневого підживлення. При цьому описана тенденція зберігалась упродовж років проведення досліджень.

Вміст білка в зерні найбільше зростав від застосування азотних добрив. Так, вміст білка зростав від 6,7 до 8,2–9,0 % за внесення повного мінерального добрива. При цьому на фосфорно-калійній системі вміст білка був на рівні 6,5 %. Вміст білка коливався за роки проведення досліджень. У 2024 р. цей показник змінювався від 6,3 до 10,2 %, у 2023 р. – від 7,4 до 9,4, а в 2025 р. – від 6,5 до 7,5 % залежно від варіанту досліду.

Необхідно відзначити, що позакореневі підживлення препаратом Brexil Mix не впливали на вміст білка в зерні кукурудзи упродовж усіх років досліджень.

Результати досліджень висвітлено в праці [118].

РОЗДІЛ 5
ОСОБЛИВОСТІ ЗАСВОЄННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ЖИВЛЕННЯ КУКУРУДЗОЮ ЗА РІЗНИХ СПОСОБІВ ВНЕСЕННЯ ДОБРИВ

Мінеральне живлення рослин залежить від складного зв’язку між складом поживних речовин, також відомим як сигнатури поживних речовин рослин, генетикою та адаптацією до факторів навколишнього середовища [17, 130]. Розуміння цієї складної взаємодії між генотипом та середовищем є складним завданням через варіації складу ґрунту на різних рівнях, особливо тому, що певні поживні речовини, такі як деякі макроелементи, стають менш доступними в умовах високої кислотності, що може вплинути на врожайність [134, 51]. Такі дослідження є фундаментальними для розробки надійних маркерів дисбалансу поживних речовин та сигнатур [120]. Такі дослідження не тільки поглиблюють наше розуміння динаміки мінералів рослин, але й надають життєво важливу інформацію про оптимізацію здоров'я та продуктивності рослин за різних умов [125].

Діагностика тканин є перспективним способом оцінки мінерального статусу насіння перед його інтеграцією в агросистеми [4]. Таке профілювання може успішно вирішити проблему антагонізму між п'ятьма необхідними поживними речовинами: N, P, K, Ca та Mg, які добре поглинаються кукурудзою [122]. Рання діагностика насіння дозволяє комплексно оцінити фізіологічний та поживний стан рослини, і вона досліджувалася в кількох дослідницьких дисциплінах, включаючи екологію рослин, фізіологію рослин, функціональну генетику та агрономію [131].

Крім N, P, K, Ca і Mg, симплекс може включати інші мікроелементи, такі як залізо (Fe), цинк (Zn) та мідь (Cu) [39]. Інші вчені [20] обрали симплекс з одинадцяти макро- та мікроелементних іонів (N, P, K, S, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, B).

Важливість балансу макронутрієнтів та мікроелементів була підкреслена в різних дослідженнях, а пов’язані з врожайністю стандарти листового підживлення були встановлені для фінікових пальм «Deglet Nour» на основі дев’яти поживних речовин (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn та Cu) та цукрової кукурудзи на основі N, P і K [25]. Також було досліджено харчовий баланс раціонів кормів для тварин, оскільки є докази прямого впливу мінерального складу корму на харчування та ріст тварин [46].

5.1 Азот

Вміст азоту значно залежав від застосування добрив з азотною складовою (табл. 5.1). Так, у середньому за три роки досліджень вміст азоту зростав від 1,12 до 1,37–1,43 % на азотних системах удобрення або на 22–28 %. За внесення повного мінерального добрива вміст азоту зростав до 1,41–1,51 % або на 26–35 % порівняно з контролем, або на 3–6 % порівняно з азотними системами удобрення. Вирощування кукурудзи на фосфорно-калійній системі забезпечувало навіть зниження вмісту азоту в зерні до 1,09 % або на 3 % порівняно з ділянками без добрив.

Вміст азоту в зерні кукурудзи значно змінювався залежно від року проведення досліджень. Так, на ділянках без добрив найвищий вміст азоту отримано в 2023 р., а в 2024–2025 рр. найменший – 1,05–1,08 %. Очевидно, що в 2023 р. склалися оптимальні умови для нітрифікаційних процесів у ґрунті, що позитивно вплинуло на накопичення азотних сполук у зерні. При цьому застосування азотних добрив більше знижувало негативний ефект у 2024 р. і менше в 2025 р., що свідчить про різний ступінь засвоєння азоту з добрив.

Різні сценарії застосування препарату Брексіл™ Мікс достовірно не впливало на вміст азоту в зерні кукурудзи. Очевидно, що за збільшення врожайності зерна вміст азоту знижувався завдяки ефекту «розчинення».

Таблиця 5.1

Вміст азоту в зерні кукурудзи залежно від способів застосування добрив, %

Варіант досліду (чинник А)		Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
		2023	2024	2025	
Без позакореневого підживлення (чинник В)					
Без добрив (контроль)		1,23	1,05	1,08	1,12
N_{80}		1,52	1,42	1,18	1,37
N_{160}		1,55	1,50	1,23	1,43
$P_{60}K_{110}$		1,25	1,02	1,00	1,09
$N_{80}P_{30}K_{55}$		1,53	1,48	1,22	1,41
$N_{160}P_{60}K_{110}$		1,57	1,70	1,25	1,51
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)		1,23	1,02	1,07	1,11
N_{80}		1,52	1,37	1,20	1,36
N_{160}		1,57	1,42	1,23	1,41
$P_{60}K_{110}$		1,23	1,00	1,03	1,09
$N_{80}P_{30}K_{55}$		1,53	1,42	1,23	1,39
$N_{160}P_{60}K_{110}$		1,55	1,63	1,25	1,48
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)		1,25	1,02	1,08	1,12
N_{80}		1,53	1,35	1,20	1,36
N_{160}		1,57	1,40	1,22	1,39
$P_{60}K_{110}$		1,23	1,02	1,05	1,10
$N_{80}P_{30}K_{55}$		1,55	1,43	1,22	1,40
$N_{160}P_{60}K_{110}$		1,57	1,65	1,23	1,48
$НІР_{05}$	А	0,05	0,03	0,03	–
	В	0,03	0,03	0,02	–

Вміст азоту в стеблах кукурудзи також змінювався залежно від удобрення, особливо азотної складової (табл. 5.2). Так, у середньому за три роки досліджень вміст азоту зростав від 0,25 до 0,54–0,82 % на азотних системах удобрення або в 2,2–3,3 рази. За внесення повного мінерального добрива вміст азоту зростав до 0,74–0,89 % або в 3,0–3,6 рази порівняно з контролем, або на 9–37 % порівняно з азотними системами удобрення. Вирощування кукурудзи на фосфорно-калійній системі забезпечувало

підвищення вмісту азоту до 0,43 % або на 72 % порівняно з ділянками без добрив.

Таблиця 5.2

Вміст азоту в стеблах кукурудзи залежно від способів застосування добрив, %

Варіант досліду (чинник А)		Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
		2023	2024	2025	
Без позакореневого підживлення (чинник В)					
Без добрив (контроль)		0,25	0,23	0,27	0,25
N_{80}		0,50	0,54	0,59	0,54
N_{160}		0,81	0,80	0,85	0,82
$P_{60}K_{110}$		0,34	0,49	0,47	0,43
$N_{80}P_{30}K_{55}$		0,64	0,76	0,81	0,74
$N_{160}P_{60}K_{110}$		0,89	0,86	0,91	0,89
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)		0,24	0,27	0,29	0,27
N_{80}		0,53	0,54	0,57	0,55
N_{160}		0,82	0,78	0,82	0,81
$P_{60}K_{110}$		0,38	0,51	0,49	0,46
$N_{80}P_{30}K_{55}$		0,67	0,77	0,80	0,75
$N_{160}P_{60}K_{110}$		0,90	0,90	0,89	0,90
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)		0,26	0,23	0,28	0,26
N_{80}		0,55	0,58	0,61	0,58
N_{160}		0,83	0,78	0,80	0,80
$P_{60}K_{110}$		0,50	0,53	0,50	0,51
$N_{80}P_{30}K_{55}$		0,61	0,73	0,81	0,72
$N_{160}P_{60}K_{110}$		0,87	0,88	0,92	0,89
$НІР_{05}$	А	0,05	0,03	0,03	–
	В	0,03	0,03	0,02	–

Найбільше азоту виносилось із зерном кукурудзи за вирощування на неудобрених ділянках, фосфорно-калійній системі та за внесення 80 кг/га д. р. азотних добрив (табл. 5.3). Застосування найбільшої дози азотних добрив окремо та сумісно з фосфорними і калійними вирівнювало господарське винесення азоту або навіть винесення його з стеблами було

більшим порівняно з зерном. Очевидно така тенденція зумовлена формуванням більшої маси стебел і вищого вмісту азоту в них за таких систем удобрення. При цьому така тенденція була встановлена для всіх років досліджень і з позакореневим підживленням мікродобривом.

Таблиця 5.3

Господарське винесення азоту врожаєм кукурудзи залежно від способів застосування добрив, кг/га

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень					
	2023	2024	2025	2023	2024	2025
	Зерно			Стебла		
Без позакореневого підживлення (чинник В)						
Без добрив (контроль)	129,2	88,3	119,0	31,4	24,1	39,4
N_{80}	200,2	164,3	143,5	81,6	79,0	97,0
N_{160}	213,6	189,3	172,4	149,9	175,1	162,1
$P_{60}K_{110}$	140,8	88,8	110,9	46,8	52,1	68,2
$N_{80}P_{30}K_{55}$	208,1	179,5	159,6	112,3	119,0	146,9
$N_{160}P_{60}K_{110}$	219,0	216,8	176,8	175,4	195,1	180,6
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га						
Без добрив (контроль)	130,4	87,6	119,0	30,2	29,1	43,0
N_{80}	202,8	161,9	147,7	87,6	80,7	94,8
N_{160}	219,2	183,3	174,7	153,7	173,9	158,4
$P_{60}K_{110}$	139,5	89,0	115,4	53,0	56,3	72,3
$N_{80}P_{30}K_{55}$	211,0	175,9	163,0	120,1	123,2	146,1
$N_{160}P_{60}K_{110}$	219,5	212,7	179,0	181,1	210,1	180,0
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га						
Без добрив (контроль)	132,5	87,7	120,0	33,2	24,7	41,8
N_{80}	204,1	159,6	147,8	91,5	87,3	102,2
N_{160}	219,0	180,9	173,4	155,5	174,9	157,6
$P_{60}K_{110}$	139,7	90,7	117,5	70,4	58,0	74,2
$N_{80}P_{30}K_{55}$	213,7	177,2	161,8	108,5	117,5	149,0
$N_{160}P_{60}K_{110}$	222,2	215,3	176,3	172,8	203,3	184,0

Загальне господарське винесення азоту змінювалось у великому діапазоні залежно від системи удобрення (табл. 5.4). Так., у варіанті без добрив цей показник становив 112,4–160,5 кг/га, а за внесення повного

мінерального добрива ($N_{160}P_{60}K_{110}$) збільшувався до 394,4–411,9 кг/га. При цьому за азотної системи удобрення рівень цього показника була в межах 334,5–364,4 кг/га. Очевидно, що поліпшення фосфорного та калійного живлення сприяє кращому засвоєнню азоту рослинами кукурудзи. Фосфорно-калійна система удобрення забезпечувала винесення азоту лише 141,0–187,5 кг/га.

Таблиця 5.4

Загальне господарське винесення азоту врожаєм кукурудзи залежно від способів застосування добрив, кг/га

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень		
	2023	2024	2025
Без позакореневого підживлення (чинник В)			
Без добрив (контроль)	160,5	112,4	158,4
N_{80}	281,7	243,3	240,5
N_{160}	363,4	364,4	334,5
$P_{60}K_{110}$	187,5	141,0	179,1
$N_{80}P_{30}K_{55}$	320,4	298,5	306,5
$N_{160}P_{60}K_{110}$	394,4	411,9	357,4
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	160,5	116,8	162,0
N_{80}	290,3	242,6	242,6
N_{160}	372,8	357,2	333,1
$P_{60}K_{110}$	192,5	145,3	187,6
$N_{80}P_{30}K_{55}$	331,1	299,1	309,1
$N_{160}P_{60}K_{110}$	400,6	422,8	359,0
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	165,7	112,4	161,8
N_{80}	295,6	246,9	250,1
N_{160}	374,6	355,8	331,0
$P_{60}K_{110}$	210,1	148,7	191,7
$N_{80}P_{30}K_{55}$	322,3	294,7	310,7
$N_{160}P_{60}K_{110}$	394,9	418,6	360,3

Необхідно відзначити, що позакореневе підживлення мікродобривом збільшувало господарське винесення азоту на 2,1–8,5 кг/га залежно від варіанту досліду, що свідчить про незначний вплив на азотне живлення рослин.

Відносне винесення азоту з урожаєм зерна кукурудзи було в 1,4–4,9 рази вищим порівняно зі стеблами, що свідчить про більше накопичення цього елементу в товарній продукції рослин (табл. 5.5). При цьому відносне винесення азоту також значно змінювалось залежно від погодних умов року проведення досліджень як на тлі застосування позакореневого підживлення, так і без нього.

Таблиця 5.5

Відносне винесення азоту врожаєм кукурудзи залежно від способів застосування добрив, кг/т

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень					
	2023	2024	2025	2023	2024	2025
	Зерно			Стебла		
Без позакореневого підживлення (чинник В)						
Без добрив (контроль)	12,3	10,5	10,8	2,5	2,3	2,7
N_{80}	15,2	14,2	11,8	5,0	5,4	5,9
N_{160}	15,5	15,0	12,3	8,1	8,0	8,5
$P_{60}K_{110}$	12,5	10,2	10,0	3,4	4,9	4,7
$N_{80}P_{30}K_{55}$	15,3	14,8	12,2	6,4	7,6	8,1
$N_{160}P_{60}K_{110}$	15,7	17,0	12,5	8,9	8,6	9,1
Брексіл™ Мікс 1,5 кг /га						
Без добрив (контроль)	12,3	10,2	10,7	2,4	2,7	2,9
N_{80}	15,2	13,7	12,0	5,3	5,4	5,7
N_{160}	15,7	14,2	12,3	8,2	7,8	8,2
$P_{60}K_{110}$	12,3	10,0	10,3	3,8	5,1	4,9
$N_{80}P_{30}K_{55}$	15,3	14,2	12,3	6,7	7,7	8,0
$N_{160}P_{60}K_{110}$	15,5	16,3	12,5	9,0	9,0	8,9
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг /га						
Без добрив (контроль)	12,5	10,2	10,8	2,6	2,3	2,8
N_{80}	15,3	13,5	12,0	5,5	5,8	6,1
N_{160}	15,7	14,0	12,2	8,3	7,8	8,0
$P_{60}K_{110}$	12,3	10,2	10,5	5,0	5,3	5,0
$N_{80}P_{30}K_{55}$	15,5	14,3	12,2	6,1	7,3	8,1
$N_{160}P_{60}K_{110}$	15,7	16,5	12,3	8,7	8,8	9,2

Відносне винесення азоту з урожаєм зерна та відповідної маси стебел також змінювалась залежно від року проведення досліджень і системи удобрення (табл. 5.6). Так, на ділянках без добрив відносне винесення було 13,4–15,3 кг/т, за умови вирощування на азотних системах 19,8–28,9 кг/т, а за повного мінерального добрива – 23,4–32,3 кг/т. Найменше на цей показник впливало застосування фосфорних і калійних добрив – 16,1–16,7 кг/т залежно від року дослідження.

Таблиця 5.6

Відносне винесення азоту врожаєм кукурудзи залежно від способів застосування добрив, кг/т зерна та відповідної кількості стебел

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень		
	2023	2024	2025
Без позакореневого підживлення (чинник В)			
Без добрив (контроль)	15,3	13,4	14,4
N_{80}	21,4	21,0	19,8
N_{160}	26,4	28,9	23,9
$P_{60}K_{110}$	16,7	16,2	16,1
$N_{80}P_{30}K_{55}$	23,6	24,6	23,4
$N_{160}P_{60}K_{110}$	28,3	32,3	25,3
Брексіл™ Мікс 1,5 кг /га			
Без добрив (контроль)	15,1	13,6	14,6
N_{80}	21,8	20,5	19,7
N_{160}	26,7	27,7	23,5
$P_{60}K_{110}$	17,0	16,3	16,8
$N_{80}P_{30}K_{55}$	24,0	24,1	23,3
$N_{160}P_{60}K_{110}$	28,3	32,4	25,1
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг /га			
Без добрив (контроль)	15,6	13,1	14,6
N_{80}	22,2	20,9	20,3
N_{160}	26,8	27,5	23,3
$P_{60}K_{110}$	18,5	16,7	17,1
$N_{80}P_{30}K_{55}$	23,4	23,8	23,4
$N_{160}P_{60}K_{110}$	27,9	32,1	25,1

Необхідно відзначити, що різні сценарії застосування позакореневого підживлення мікродобривом не мало чіткої тенденції щодо формування відносного винесення порівняно з ділянками без його застосування.

Формування 56–69 % азоту в господарському винесенні зерном свідчить про більше накопичення його в товарній частині врожаю кукурудзи (табл. 5.7). При цьому застосування добрив не мають постійного впливу на зростання цього показника. Так, у 2024 р. частка азоту зростала найбільше – від 56 до 69 %, у 2023 р. – від 64 до 69 %, а в 2025 р. навіть знизилась від 62 до 61 %. Необхідно відзначити, що частка азоту в господарському винесенні стеблами кукурудзи завжди зростала – від 14–15 до 21–29 % залежно від варіанту досліду.

Таблиця 5.7

Частка азоту в урожаї зерна та стебел кукурудзи залежно від способів застосування добрив, %

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень					
	2023	2024	2025	2023	2024	2025
	Зерно			Стебла		
Без позакореневого підживлення (чинник В)						
Без добрив (контроль)	64	56	62	15	14	15
N_{80}	68	65	63	23	25	26
N_{160}	69	66	61	27	28	29
$P_{60}K_{110}$	63	57	57	14	20	19
$N_{80}P_{30}K_{55}$	67	65	61	21	26	26
$N_{160}P_{60}K_{110}$	69	69	61	26	27	27
Брексіл™ Мікс 1,5 кг /га						
Без добрив (контроль)	62	55	60	14	15	16
N_{80}	67	61	62	23	24	25
N_{160}	67	61	60	27	27	27
$P_{60}K_{110}$	62	53	56	15	20	19
$N_{80}P_{30}K_{55}$	67	64	60	21	25	25
$N_{160}P_{60}K_{110}$	67	67	61	26	28	26
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг /га						
Без добрив (контроль)	62	53	60	15	13	15
N_{80}	67	61	61	23	25	26
N_{160}	67	61	60	27	27	27
$P_{60}K_{110}$	60	51	55	19	21	19
$N_{80}P_{30}K_{55}$	67	63	60	20	24	25
$N_{160}P_{60}K_{110}$	67	67	61	25	26	27

Частка азоту в загальному господарському винесенні змінювалась від 34–39 % у варіанті без добрив до 37–40 % за внесення $N_{160}P_{60}K_{110}$ (табл. 5.8). Найвищу частку забезпечували азотні системи удобрення – 39–43 %, а найменші фосфорно-калійна система – 32–34 %.

Необхідно відзначити, що застосування препарату Брексіл™ Мікс один або два рази не впливало на частку азоту в господарському винесенні, що зумовлено низьким впливом його на формування вмісту азоту в рослинах кукурудзи.

Таблиця 5.8

Частка азоту в загальному господарському винесенні врожаєм кукурудзи залежно від способів застосування добрив, %

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень		
	2023	2024	2025
Без позакореневого підживлення (чинник В)			
Без добрив (контроль)	39	34	35
N_{80}	43	43	40
N_{160}	42	40	39
$P_{60}K_{110}$	33	34	32
$N_{80}P_{30}K_{55}$	38	41	37
$N_{160}P_{60}K_{110}$	40	40	37
Брексіл™ Мікс 1,5 кг /га			
Без добрив (контроль)	38	34	35
N_{80}	43	40	39
N_{160}	42	38	38
$P_{60}K_{110}$	33	33	32
$N_{80}P_{30}K_{55}$	38	39	36
$N_{160}P_{60}K_{110}$	39	39	37
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг /га			
Без добрив (контроль)	37	32	34
N_{80}	42	41	40
N_{160}	42	38	38
$P_{60}K_{110}$	34	33	32
$N_{80}P_{30}K_{55}$	37	39	36
$N_{160}P_{60}K_{110}$	38	38	37

Результати обрахунку балансу азоту свідчать про його дефіцит незалежно від варіанту досліду (табл. 5.9). При цьому на ділянках без добрив дефіцит балансу найбільший – -88,3–-129,2 кг/га, а за внесення повного мінерального добрива – -16,8–-59,0 кг/га. Подібну тенденцію встановлено за позакореневого підживлення рослин мікродобривом.

Таблиця 5.9

Баланс азоту за вирощування кукурудзи із залишенням стебел залежно від способів застосування добрив, кг/га

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень		
	2023	2024	2025
Без позакореневого підживлення (чинник В)			
Без добрив (контроль)	-129,2	-88,3	-119,0
N_{80}	-120,2	-84,3	-63,5
N_{160}	-53,6	-29,3	-12,4
$P_{60}K_{110}$	-140,8	-88,8	-110,9
$N_{80}P_{30}K_{55}$	-128,1	-99,5	-79,6
$N_{160}P_{60}K_{110}$	-59,0	-56,8	-16,8
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	-130,4	-87,6	-119,0
N_{80}	-122,8	-81,9	-67,7
N_{160}	-59,2	-23,3	-14,7
$P_{60}K_{110}$	-139,5	-89,0	-115,4
$N_{80}P_{30}K_{55}$	-131,0	-95,9	-83,0
$N_{160}P_{60}K_{110}$	-59,5	-52,7	-19,0
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	-132,5	-87,7	-120,0
N_{80}	-124,1	-79,6	-67,8
N_{160}	-59,0	-20,9	-13,4
$P_{60}K_{110}$	-139,7	-90,7	-117,5
$N_{80}P_{30}K_{55}$	-133,7	-97,2	-81,8
$N_{160}P_{60}K_{110}$	-62,2	-55,3	-16,3

Результати досліджень свідчать, що азотні системи з найбільшою дозою азотних добрив безпечні для умов Правобережного Лісостепу, оскільки накопичення азоту в ґрунті немає.

5.2 Калій

Калій відіграє важливу роль у регулюванні водного режиму рослин, активуванні ферментативних процесів, переміщенні пластичних речовин і підвищенні стійкості кукурудзи до несприятливих чинників середовища. На відміну від азоту й фосфору, він не входить до складу органічних сполук, однак значною мірою визначає перебіг фізіолого-біохімічних процесів у рослині. Особливістю калійного живлення кукурудзи є переважне накопичення цього елемента у вегетативній масі. Тому оцінювання вмісту калію в зерні та стеблах, його господарського винесення й балансу має враховувати подальше використання побічної продукції [77].

Вміст калію в середньому за три роки проведення досліджень також мав тенденцію не змінюватись від застосування систем удобрення з азотною складовою (табл. 5.10). При цьому фосфорно-калійна система як у середньому, так і за роками досліджень достовірно підвищувала вміст калію в зерні кукурудзи. Проте по різному впливало удобрення впродовж років досліджень. На тлі без позакореневих підживлень у 2023 р. вміст калію не змінювався, в 2024 р. – знижувався, а в 2025 р. – зростав за внесення повного мінерального добрива порівняно з контролем. При цьому азотні системи удобрення достовірно знижували вміст калію в зерні.

Застосування препарату Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га в 2023 р. також не впливало на вміст калію в зерні, а в 2024–2025 рр. вміст калію зростав на всіх системах удобрення. За дворазового оброблення посівів кукурудзи препаратом Брексіл™ Мікс вміст калію також змінювався подібно до одноразового підживлення. При цьому вміст калію більше зростав на системах без калійного удобрення.

Вміст калію в зерні кукурудзи залежав як від фону мінерального живлення, так і від позакореневого застосування Брексіл™ Мікс (табл. 5.10). Без позакореневого підживлення середнє за три роки значення цього

показника змінювалося у вузькому діапазоні – від 0,30 до 0,34 %. Найвищий уміст калію встановлено за внесення $P_{60}K_{110}$ – 0,34 %, а на фоні $N_{80}P_{30}K_{55}$ він становив 0,33 %. На контролі та за повного мінерального удобрення $N_{160}P_{60}K_{110}$ уміст калію становив 0,31 %, тоді як за внесення N_{80} і N_{160} – відповідно 0,30 і 0,32 %.

Таблиця 5.10

Вміст калію в зерні кукурудзи залежно від способів застосування добрив, %

Варіант досліду (чинник А)		Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
		2023	2024	2025	
Без позакореневого підживлення (чинник В)					
Без добрив (контроль)		0,30	0,36	0,28	0,31
N_{80}		0,30	0,31	0,28	0,30
N_{160}		0,29	0,32	0,34	0,32
$P_{60}K_{110}$		0,32	0,35	0,34	0,34
$N_{80}P_{30}K_{55}$		0,31	0,34	0,33	0,33
$N_{160}P_{60}K_{110}$		0,29	0,33	0,32	0,31
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)		0,33	0,38	0,30	0,34
N_{80}		0,31	0,42	0,31	0,35
N_{160}		0,33	0,46	0,37	0,39
$P_{60}K_{110}$		0,35	0,44	0,38	0,39
$N_{80}P_{30}K_{55}$		0,32	0,35	0,35	0,34
$N_{160}P_{60}K_{110}$		0,31	0,34	0,33	0,33
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)		0,34	0,44	0,32	0,37
N_{80}		0,32	0,42	0,32	0,35
N_{160}		0,32	0,43	0,35	0,37
$P_{60}K_{110}$		0,36	0,50	0,39	0,42
$N_{80}P_{30}K_{55}$		0,31	0,36	0,34	0,34
$N_{160}P_{60}K_{110}$		0,30	0,34	0,32	0,32
$НІР_{05}$	А	0,01	0,01	0,01	–
	В	0,01	0,01	0,01	–

Отже, лише ґрунтове застосування калійних добрив не забезпечувало однакового підвищення концентрації калію в зерні, оскільки цей показник

визначався співвідношенням елементів живлення, погодними умовами та інтенсивністю формування врожаю.

Позакореневе застосування Брексіл™ Мікс істотніше впливало на вміст калію в зерні, ніж на відповідний показник азоту. За одноразового підживлення середнє значення залежно від фону мінерального живлення становило 0,33–0,39 %, а за дворазового – 0,32–0,42 %. Порівняно з варіантами без позакореневого підживлення одноразове внесення підвищувало середній уміст калію в зерні на 0,01–0,07 відсоткового пункту, а дворазове – на 0,01–0,08 відсоткового пункту. Найбільший ефект одержано на фоні $P_{60}K_{110}$: показник зростав із 0,34 % без підживлення до 0,39 % за одноразового і до 0,42 % за дворазового застосування препарату. На фоні N_{160} максимальне значення – 0,39 % – формувалося за одноразового внесення, тоді як дворазове застосування забезпечувало 0,37 %. Найменшою була реакція на фонах $N_{80}P_{30}K_{55}$ і $N_{160}P_{60}K_{110}$, де приріст середнього показника не перевищував 0,01–0,02 відсоткового пункту.

Реакція рослин істотно залежала від погодних умов року. У 2023 р. вміст калію в зерні змінювався від 0,29 до 0,32 % без підживлення, від 0,31 до 0,35 % за одноразового і від 0,30 до 0,36 % за дворазового застосування препарату. Найбільшу варіабельність установлено у 2024 р.: 0,31–0,36; 0,34–0,46 і 0,34–0,50 % відповідно. У 2025 р. значення були проміжними та становили 0,28–0,34; 0,30–0,38 і 0,32–0,39 %. Отже, найвиразніша реакція зерна на позакореневе підживлення проявилася у 2024 р., особливо на фонах N_{160} і $P_{60}K_{110}$. Різниці між варіантами перевищували $НІР_{05}$ для чинників А і В, яка в усі роки становила 0,01 %, що підтверджує істотність впливу досліджуваних чинників.

Калій значно інтенсивніше накопичувався у стеблах, ніж у зерні кукурудзи (табл. 5.11). Без позакореневого підживлення його середній уміст у стеблах зростав від 1,16 % на контролі до 1,22 % за внесення N_{80}, 1,57 % – N_{160}, 1,66 % – $P_{60}K_{110}$, 1,79 % – $N_{80}P_{30}K_{55}$ і 1,93 % – $N_{160}P_{60}K_{110}$.

Порівняно з контролем приріст становив відповідно 5, 35, 43, 54 і 66 %. Найвищі показники формувалися за повного мінерального удобрення, що свідчить про позитивну дію збалансованого забезпечення рослин азотом, фосфором і калієм на накопичення останнього у вегетативній масі.

Таблиця 5.11

Вміст калію в стеблах кукурудзи залежно від способів застосування добрив, %

Варіант досліду (чинник А)		Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
		2023	2024	2025	
Без позакореневого підживлення (чинник В)					
Без добрив (контроль)		1,16	1,13	1,18	1,16
N_{80}		1,25	1,19	1,21	1,22
N_{160}		1,63	1,51	1,58	1,57
$P_{60}K_{110}$		1,77	1,55	1,67	1,66
$N_{80}P_{30}K_{55}$		1,89	1,67	1,81	1,79
$N_{160}P_{60}K_{110}$		2,02	1,85	1,91	1,93
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)		1,15	1,12	1,17	1,15
N_{80}		1,23	1,22	1,24	1,23
N_{160}		1,64	1,55	1,65	1,61
$P_{60}K_{110}$		1,79	1,60	1,71	1,70
$N_{80}P_{30}K_{55}$		1,92	1,77	1,88	1,86
$N_{160}P_{60}K_{110}$		2,03	1,82	1,90	1,92
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)		1,18	1,15	1,19	1,17
N_{80}		1,29	1,21	1,22	1,24
N_{160}		1,67	1,53	1,62	1,61
$P_{60}K_{110}$		1,81	1,56	1,70	1,69
$N_{80}P_{30}K_{55}$		1,96	1,71	1,85	1,84
$N_{160}P_{60}K_{110}$		2,09	1,86	1,89	1,95
$НІР_{05}$	А	0,04	0,04	0,04	–
	В	0,04	0,03	0,03	–

Одноразове застосування Брексіл™ Мікс підвищувало середній уміст калію в стеблах до 1,15–1,92 %, а дворазове – до 1,17–1,95 %. Вплив

препарату був значно слабшим, ніж дія фону мінерального живлення. Найбільший середній приріст за одноразового підживлення встановлено на фоні $N_{80}P_{30}K_{55}$ – 0,07 відсоткового пункту, а за дворазового – на фонах N_{160} і $N_{80}P_{30}K_{55}$, де він становив 0,04–0,05 відсоткового пункту. На контролі та на фоні $N_{160}P_{60}K_{110}$ відмінності були мінімальними й переважно не перевищували $НІР_{05}$.

Найвищі значення вмісту калію у стеблах за більшістю варіантів отримано у 2023 р., а нижчі – у 2024 р. У варіанті $N_{160}P_{60}K_{110}$ показник становив 2,02 % без підживлення, 2,03 % за одноразового і 2,09 % за дворазового застосування препарату у 2023 р. У 2024 р. відповідні значення дорівнювали 1,85; 1,82 і 1,86 %, а у 2025 р. – 1,91; 1,90 і 1,89 %. Отже, фон мінерального живлення був основним чинником формування вмісту калію у стеблах, тоді як дія Брексіл™ Мікс мала переважно коригувальний характер.

Господарське винесення калію врожаєм визначалося концентрацією елемента в органах рослин та величиною сформованої біомаси (табл. 5.12). У всіх варіантах основна кількість калію містилася у стеблах. Без позакореневого підживлення його винесення зерном становило 30,3–47,7 кг/га, тоді як стеблами – 118,5–419,8 кг/га. Отже, винесення калію стеблами було у декілька разів вищим, ніж зерном.

На неудобреному фоні винесення калію зерном становило 30,3–31,5 кг/га, а стеблами – 118,5–172,3 кг/га. Застосування N_{80} збільшувало ці показники відповідно до 34,0–39,5 і 174,1–203,9 кг/га. Підвищення дози азоту до N_{160} забезпечувало винесення зерном 40,0–47,7 кг/га, а стеблами – 301,3–330,5 кг/га. Таким чином, навіть без внесення калійних добрив поліпшення азотного живлення посилювало засвоєння калію з ґрунтових запасів.

За внесення $P_{60}K_{110}$ винесення калію зерном становило 30,5–37,7 кг/га, а стеблами – 164,9–243,4 кг/га. Значно вищі показники отримано за комплексного удобрення. На фоні $N_{80}P_{30}K_{55}$ стебла виносили 261,5–

331,7 кг/га калію, а на фоні $N_{160}P_{60}K_{110}$ – 379,1–419,8 кг/га. Максимальне винесення калію стеблами без позакореневого підживлення встановлено у 2024 р. за внесення $N_{160}P_{60}K_{110}$ – 419,8 кг/га.

Таблиця 5.12

Господарське винесення калію врожаєм кукурудзи залежно від способів застосування добрив, кг/га

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень					
	2023	2024	2025	2023	2024	2025
	Зерно			Стебла		
Без позакореневого підживлення (чинник В)						
Без добрив (контроль)	31,5	30,3	30,9	145,6	118,5	172,3
N_{80}	39,5	35,9	34,0	203,9	174,1	198,9
N_{160}	40,0	40,4	47,7	301,6	330,5	301,3
$P_{60}K_{110}$	36,0	30,5	37,7	243,4	164,9	242,3
$N_{80}P_{30}K_{55}$	42,2	41,2	43,2	331,7	261,5	328,3
$N_{160}P_{60}K_{110}$	40,5	42,1	45,2	398,1	419,8	379,1
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га						
Без добрив (контроль)	35,0	32,6	33,4	144,6	120,8	173,6
N_{80}	41,4	49,6	38,2	203,2	182,3	206,3
N_{160}	46,1	59,4	52,5	307,3	345,5	318,8
$P_{60}K_{110}$	39,7	39,2	42,6	249,7	176,5	252,2
$N_{80}P_{30}K_{55}$	44,1	43,4	46,4	344,3	283,2	343,3
$N_{160}P_{60}K_{110}$	43,9	44,4	47,3	408,4	424,8	384,4
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га						
Без добрив (контроль)	36,0	37,8	35,6	150,5	123,4	177,7
N_{80}	42,7	49,6	39,4	214,7	182,1	204,5
N_{160}	44,6	55,6	49,7	313,0	343,0	319,1
$P_{60}K_{110}$	40,9	44,5	43,6	254,7	170,7	252,3
$N_{80}P_{30}K_{55}$	42,7	44,6	45,1	348,7	275,3	340,2
$N_{160}P_{60}K_{110}$	42,5	44,4	45,9	415,1	429,7	378,0

Позакореневе підживлення переважно збільшувало винесення калію обома складовими врожаю. За одноразового застосування найвищі показники становили 59,4 кг/га зерном на фоні N_{160} у 2024 р. і 424,8 кг/га стеблами на фоні $N_{160}P_{60}K_{110}$. За дворазового застосування максимальне винесення калію

стеблами зростало до 429,7 кг/га. Найбільша реакція зерна на підживлення проявилася у 2024 р. на фоні N_{160}, тоді як для стебел дія препарату була менш вираженою і значною мірою залежала від фону живлення.

Загальне господарське винесення калію врожаєм кукурудзи змінювалося в широкому діапазоні залежно від системи удобрення, року та позакореневого підживлення (табл. 5.13). Без застосування Брексіл™ Мікс найменші значення отримано на контролі – 148,8–203,1 кг/га, а найбільші – за внесення $N_{160}P_{60}K_{110}$: 424,4–461,8 кг/га. На фоні N_{80} загальне винесення становило 210,0–243,4 кг/га, N_{160} – 341,5–370,9, $P_{60}K_{110}$ – 195,4–280,0, а $N_{80}P_{30}K_{55}$ – 302,8–373,9 кг/га.

Таблиця 5.13

Загальне господарське винесення калію врожаєм кукурудзи залежно від способів застосування добрив, кг/га

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень		
	2023	2024	2025
Без позакореневого підживлення (чинник В)			
Без добрив (контроль)	177,1	148,8	203,1
N_{80}	243,4	210,0	233,0
N_{160}	341,5	370,9	349,0
$P_{60}K_{110}$	279,4	195,4	280,0
$N_{80}P_{30}K_{55}$	373,9	302,8	371,5
$N_{160}P_{60}K_{110}$	438,6	461,8	424,4
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	179,5	153,5	207,0
N_{80}	244,6	231,9	244,5
N_{160}	353,4	404,9	371,3
$P_{60}K_{110}$	289,4	215,6	294,8
$N_{80}P_{30}K_{55}$	388,4	326,6	389,7
$N_{160}P_{60}K_{110}$	452,3	469,2	431,6
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	186,5	161,2	213,2
N_{80}	257,3	231,7	243,9
N_{160}	357,6	398,6	368,9
$P_{60}K_{110}$	295,6	215,1	295,9
$N_{80}P_{30}K_{55}$	391,4	319,9	385,3
$N_{160}P_{60}K_{110}$	457,5	474,0	423,9

За середніми трирічними значеннями без позакореневого підживлення загальне винесення калію становило 176,3 кг/га на контролі, 228,8 кг/га за N_{80}, 353,8 кг/га за N_{160}, 251,6 кг/га за $P_{60}K_{110}$, 349,4 кг/га за $N_{80}P_{30}K_{55}$ і 441,6 кг/га за $N_{160}P_{60}K_{110}$. Порівняно з контролем приріст становив відповідно 30, 101, 43, 98 і 150 %. Показово, що внесення N_{160} без калію забезпечувало майже таке саме винесення, як $N_{80}P_{30}K_{55}$. Це свідчить про інтенсивне використання кукурудзою ґрунтових запасів калію за поліпшення азотного живлення.

Одноразове застосування Брексіл™ Мікс у середньому збільшувало загальне винесення калію на 3,7–22,7 кг/га залежно від фону, а дворазове – на 10,2–21,3 кг/га. У відносному вираженні приріст переважно становив 2,1–6,9 %. Найменша реакція була характерною для фону $N_{160}P_{60}K_{110}$, де збільшення становило близько 2 %, а найбільша – для N_{80}, N_{160} і $P_{60}K_{110}$. У середньому за всіма фонами й роками одноразове підживлення збільшувало загальне винесення приблизно на 13,5 кг/га, а дворазове – на 15,2 кг/га. Водночас перевага дворазового внесення над одноразовим була невеликою та проявлялася не на всіх фонах.

За роками мінімальні значення для більшості варіантів отримано у 2024 р. на контролі, за N_{80}, $P_{60}K_{110}$ і $N_{80}P_{30}K_{55}$. Водночас на фонах $N_{160\,т}$а $N_{160}P_{60}K_{110\,с}$аме у 2024 р. сформувалися максимальні показники. Це свідчить про взаємодію погодних умов із рівнем мінерального живлення.

Відносне винесення калію зерном без позакореневого підживлення становило 2,8–3,6 кг/т, тоді як стеблами – 11,3–20,2 кг/т сухої речовини (табл. 5.14). Отже, на одиницю маси стебла накопичували значно більше калію, ніж зерно. Відносне винесення зерном порівняно слабко залежало від фону удобрення, тоді як для стебел вплив системи живлення був виразним.

На контролі відносне винесення калію зерном становило 2,8–3,6 кг/т, а стеблами – 11,3–11,8 кг/т. За внесення N_{80} відповідні показники дорівнювали 2,8–3,1 і 11,9–12,5 кг/т. Підвищення дози азоту до N_{160}

збільшувало відносне винесення стеблами до 15,1–16,3 кг/т. За $P_{60}K_{110}$ воно становило 15,5–17,7 кг/т, за $N_{80}P_{30}K_{55}$ – 16,7–18,9, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – 18,5–20,2 кг/т.

Таблиця 5.14

Відносне винесення калію врожаєм кукурудзи залежно від способів застосування добрив, кг/т

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень					
	2023	2024	2025	2023	2024	2025
	Зерно			Стебла		
Без позакореневого підживлення (чинник В)						
Без добрив (контроль)	3,0	3,6	2,8	11,6	11,3	11,8
N_{80}	3,0	3,1	2,8	12,5	11,9	12,1
N_{160}	2,9	3,2	3,4	16,3	15,1	15,8
$P_{60}K_{110}$	3,2	3,5	3,4	17,7	15,5	16,7
$N_{80}P_{30}K_{55}$	3,1	3,4	3,3	18,9	16,7	18,1
$N_{160}P_{60}K_{110}$	2,9	3,3	3,2	20,2	18,5	19,1
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га						
Без добрив (контроль)	3,3	3,8	3,0	11,5	11,2	11,7
N_{80}	3,1	4,2	3,1	12,3	12,2	12,4
N_{160}	3,3	4,6	3,7	16,4	15,5	16,5
$P_{60}K_{110}$	3,5	4,4	3,8	17,9	16,0	17,1
$N_{80}P_{30}K_{55}$	3,2	3,5	3,5	19,2	17,7	18,8
$N_{160}P_{60}K_{110}$	3,1	3,4	3,3	20,3	18,2	19,0
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га						
Без добрив (контроль)	3,4	4,4	3,2	11,8	11,5	11,9
N_{80}	3,2	4,2	3,2	12,9	12,1	12,2
N_{160}	3,2	4,3	3,5	16,7	15,3	16,2
$P_{60}K_{110}$	3,6	5,0	3,9	18,1	15,6	17,0
$N_{80}P_{30}K_{55}$	3,1	3,6	3,4	19,6	17,1	18,5
$N_{160}P_{60}K_{110}$	3,0	3,4	3,2	20,9	18,6	18,9

Позакореневе застосування препарату найбільше впливало на відносне винесення калію зерном у 2024 р. Зокрема, на фоні N_{160} показник зростав із 3,2 кг/т без підживлення до 4,6 кг/т за одноразового і 4,3 кг/т за дворазового внесення, а на фоні $P_{60}K_{110}$ – із 3,5 до 4,4 і 5,0 кг/т відповідно.

Для стебел зміни були менш вираженими: максимальне значення 20,9 кг/т одержано у 2023 р. на фоні $N_{160}P_{60}K_{110}$ за дворазового застосування препарату. Загалом позакореневе підживлення дещо збільшувало відносне винесення калію, але величина ефекту залежала від року та фону.

Сумарне відносне винесення калію в розрахунку на 1 т зерна та відповідної кількості стебел визначалося переважно фоном мінерального живлення (табл. 5.15). Без позакореневого підживлення показник становив 16,9–18,4 кг/т на контролі, 18,1–19,2 – за N_{80}, 24,8–29,4 – за N_{160}, 22,4–25,3 – за $P_{60}K_{110}$, 25,0–28,4 – за $N_{80}P_{30}K_{55}$ і 30,0–36,2 кг/т за $N_{160}P_{60}K_{110}$.

Таблиця 5.15

Відносне винесення калію врожаєм кукурудзи залежно від способів застосування добрив, кг/т зерна та відповідної кількості стебел

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень		
	2023	2024	2025
Без позакореневого підживлення (чинник В)			
Без добрив (контроль)	16,9	17,7	18,4
N_{80}	18,5	18,1	19,2
N_{160}	24,8	29,4	24,9
$P_{60}K_{110}$	24,8	22,4	25,3
$N_{80}P_{30}K_{55}$	27,5	25,0	28,4
$N_{160}P_{60}K_{110}$	31,4	36,2	30,0
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	16,9	17,9	18,6
N_{80}	18,3	19,6	19,9
N_{160}	25,3	31,4	26,1
$P_{60}K_{110}$	25,5	24,2	26,3
$N_{80}P_{30}K_{55}$	28,2	26,4	29,4
$N_{160}P_{60}K_{110}$	31,9	36,0	30,1
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	17,6	18,7	19,2
N_{80}	19,3	19,6	19,8
N_{160}	25,6	30,9	26,0
$P_{60}K_{110}$	26,0	24,2	26,4
$N_{80}P_{30}K_{55}$	28,4	25,8	29,1
$N_{160}P_{60}K_{110}$	32,3	36,3	29,6

Найвище середнє за три роки значення сформувалося на фоні $N_{160}P_{60}K_{110}$ – 32,5 кг/т без підживлення та 32,7 кг/т за одно- і дворазового застосування Брексіл™ Мікс. На контролі відповідні значення становили 17,7; 17,8 і 18,5 кг/т. Отже, повне мінеральне удобрення збільшувало витрати калію на формування одиниці товарної продукції приблизно у 1,8 рази порівняно з неудобреними ділянками.

Одноразове позакореневе підживлення у середньому за роками підвищувало показник на 0,1–1,2 кг/т, а дворазове – на 0,2–1,4 кг/т залежно від фону. Найбільша реакція спостерігалася на фонах $P_{60}K_{110}$ та N_{160}, тоді як за повного NPK-удобрення вона була мінімальною. Перевага дворазового застосування над одноразовим загалом була незначною.

Розподіл калію між зерном і стеблами підтвердив його переважне накопичення у вегетативній частині врожаю (табл. 5.16). Частка калію, зосередженого в зерні, змінювалася від 13 до 25 %, тоді як у стеблах – від 52 до 72 %. За відсутності позакореневого підживлення найбільшу частку калію у стеблах установлено на фоні $P_{60}K_{110}$ – 64–72 %, а найменшу – за N_{80} і N_{160}, де вона становила 53–57 і 53–55 % відповідно.

Позакореневе застосування Брексіл™ Мікс дещо збільшувало частку калію в зерні, особливо у 2024 р. На контролі вона зростала з 19 % без підживлення до 21 % за одноразового і 23 % за дворазового внесення. На фоні $P_{60}K_{110}$ відповідні значення становили 20, 23 і 25 %. Одночасно частка калію у стеблах на цих варіантах зменшувалася. Проте на фонах $N_{80}P_{30}K_{55}$ і $N_{160}P_{60}K_{110}$ розподіл калію між органами рослин був відносно стабільним.

Таблиця 5.16

Частка калію в урожаї зерна та стебел кукурудзи залежно від способів застосування добрив, %

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень					
	2023	2024	2025	2023	2024	2025
	Зерно			Стебла		
Без позакореневого підживлення (чинник В)						
Без добрив (контроль)	16	19	16	69	69	67
N_{80}	13	14	15	57	55	53
N_{160}	13	14	17	55	54	53
$P_{60}K_{110}$	16	20	19	72	64	66
$N_{80}P_{30}K_{55}$	14	15	16	63	58	58
$N_{160}P_{60}K_{110}$	13	13	16	59	58	56
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га						
Без добрив (контроль)	17	21	17	67	64	65
N_{80}	14	19	16	54	55	54
N_{160}	14	20	18	55	54	54
$P_{60}K_{110}$	18	23	21	70	63	65
$N_{80}P_{30}K_{55}$	14	16	17	61	58	59
$N_{160}P_{60}K_{110}$	13	14	16	58	56	56
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га						
Без добрив (контроль)	17	23	18	66	67	66
N_{80}	14	19	16	55	53	52
N_{160}	14	19	17	55	54	54
$P_{60}K_{110}$	18	25	21	67	62	65
$N_{80}P_{30}K_{55}$	13	16	17	63	57	58
$N_{160}P_{60}K_{110}$	13	14	16	59	56	56

Частка калію в загальному господарському винесенні врожаєм кукурудзи залежала переважно від фону мінерального живлення і мало змінювалася під впливом позакореневого підживлення (табл. 5.17). Без застосування Брексіл™ Мікс цей показник становив 43–45 % на контролі, 37–39 % за N_{80}, 40–41 % за N_{160}, 47–50 % за $P_{60}K_{110}$, 41–45 % за $N_{80}P_{30}K_{55}$ і стабільно 44 % за $N_{160}P_{60}K_{110}$.

Найвищу частку калію одержано на фосфорно-калійному фоні, а найнижчу – за внесення N_{80}. Одно- і дворазове застосування Брексіл™ Мікс змінювало цей показник переважно в межах 1–2 відсоткових пунктів. На фоні $N_{160}P_{60}K_{110}$ він у всіх роках і за всіх способів позакореневого підживлення залишався на рівні 44 %. Отже, структура загального господарського винесення елементів живлення визначалася насамперед системою основного удобрення.

Таблиця 5.17

Частка калію в загальному господарському винесенні врожаєм кукурудзи залежно від способів застосування добрив, %

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень		
	2023	2024	2025
Без позакореневого підживлення (чинник В)			
Без добрив (контроль)	43	45	45
N_{80}	37	37	39
N_{160}	40	41	41
$P_{60}K_{110}$	50	47	50
$N_{80}P_{30}K_{55}$	45	41	45
$N_{160}P_{60}K_{110}$	44	44	44
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	42	44	45
N_{80}	36	39	39
N_{160}	40	43	42
$P_{60}K_{110}$	49	48	50
$N_{80}P_{30}K_{55}$	44	43	45
$N_{160}P_{60}K_{110}$	44	44	44
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	42	46	45
N_{80}	37	38	39
N_{160}	40	43	42
$P_{60}K_{110}$	48	48	49
$N_{80}P_{30}K_{55}$	45	42	45
$N_{160}P_{60}K_{110}$	44	44	44

Баланс калію за умови залишення стебел на полі визначався різницею між надходженням елемента з добривами та його винесенням з урожаєм зерна (табл. 5.18). За відсутності калійних добрив баланс був від’ємним у

всіх роках. Без позакореневого підживлення на контролі він становив від −30,3 до −31,5 кг/га, за N_{80} − від −34,0 до −39,5, а за N_{160} − від −40,0 до −47,7 кг/га. Отже, підвищення рівня азотного живлення без внесення калію посилювало його винесення зерном і збільшувало дефіцит балансу.

Таблиця 5.18

Баланс калію за вирощування кукурудзи із залишенням стебел залежно від способів застосування добрив, кг/га

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень		
	2023	2024	2025
Без позакореневого підживлення (чинник В)			
Без добрив (контроль)	-31,5	-30,3	-30,9
N_{80}	-39,5	-35,9	-34,0
N_{160}	-40,0	-40,4	-47,7
$P_{60}K_{110}$	74,0	79,5	72,3
$N_{80}P_{30}K_{55}$	12,8	13,8	11,8
$N_{160}P_{60}K_{110}$	69,5	67,9	64,8
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	-35,0	-32,6	-33,4
N_{80}	-41,4	-49,6	-38,2
N_{160}	-46,1	-59,4	-52,5
$P_{60}K_{110}$	70,3	70,8	67,4
$N_{80}P_{30}K_{55}$	10,9	11,6	8,6
$N_{160}P_{60}K_{110}$	66,1	65,6	62,7
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	-36,0	-37,8	-35,6
N_{80}	-42,7	-49,6	-39,4
N_{160}	-44,6	-55,6	-49,7
$P_{60}K_{110}$	69,1	65,5	66,4
$N_{80}P_{30}K_{55}$	12,3	10,4	9,9
$N_{160}P_{60}K_{110}$	67,5	65,6	64,1

За застосування калійних добрив баланс змінювався на додатний. На фоні $P_{60}K_{110}$ без позакореневого підживлення він становив 72,3–79,5 кг/га, на фоні $N_{80}P_{30}K_{55}$ − 11,8–13,8, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ − 64,8–69,5 кг/га. Найменший додатний баланс на фоні $N_{80}P_{30}K_{55}$ пояснюється нижчою дозою калію – 55 кг/га − та його значним винесенням із зерном.

Позакореневе застосування Брексіл™ Мікс, підвищуючи врожайність або концентрацію калію в зерні, переважно посилювало його відчуження з поля. Тому на фонах без калійних добрив дефіцит балансу зростав: у середньому за три роки на контролі від −30,9 до −33,7 і −36,5 кг/га, за N_{80} − від −36,5 до −43,1 і −43,9 кг/га, а за N_{160} − від −42,7 до −52,7 і −50,0 кг/га відповідно без підживлення, за одно- та дворазового застосування препарату. На калійних фонах додатний баланс дещо зменшувався, однак залишався позитивним: у середньому 67,0–75,3 кг/га за $P_{60}K_{110}$, 10,4–12,8 кг/га за $N_{80}P_{30}K_{55}$ і 64,8–67,4 кг/га за $N_{160}P_{60}K_{110}$.

Отже, повернення стеблової маси до ґрунту істотно змінює оцінку балансу калію, оскільки основна його частина накопичується саме у стеблах. За умови збирання лише зерна внесення калію в дозах 55–110 кг/га забезпечувало додатний баланс. Водночас на фонах без калійних добрив систематичне вирощування кукурудзи формувало дефіцит від 30,3 до 59,4 кг/га залежно від рівня азотного живлення, року та позакореневого підживлення. Це вказує на ризик поступового виснаження доступних запасів калію в ґрунті за тривалого застосування однобічного азотного удобрення.

Результати досліджень показали, що калій переважно накопичувався у стеблах кукурудзи, тоді як його концентрація і винесення зерном були значно нижчими. Основним чинником формування калійного живлення була система ґрунтового удобрення. Повне мінеральне удобрення $N_{160}P_{60}K_{110}$ забезпечувало найвищий уміст калію у стеблах, максимальне загальне господарське винесення та найбільше відносне винесення цього елемента на одиницю врожаю зерна.

Позакореневе застосування Брексіл™ Мікс найбільш виразно підвищувало вміст калію в зерні, особливо у 2024 р. та на фонах N_{160} і $P_{60}K_{110}$. Вплив препарату на вміст калію у стеблах був слабшим. Одно- і дворазове підживлення переважно збільшувало загальне винесення калію, однак чіткої стабільної переваги дворазового застосування над

одноразовим не встановлено.

За умови залишення стебел на полі баланс калію визначався переважно його дозою у складі основного удобрення та винесенням із зерном. На фонах без калійних добрив він залишався від'ємним, а застосування азоту посилювало дефіцит унаслідок більш інтенсивного використання ґрунтових запасів калію. Внесення $K_{55–110}$ забезпечувало додатний баланс, однак його величина зменшувалася в разі підвищення винесення калію під впливом позакореневого підживлення.

5.3 Фосфор

Вплив систем удобрення та позакореневого підживлення на уміст фосфору в зерні кукурудзи наведено в таблиці 5.19.

Таблиця 5.19

Вміст фосфору в зерні кукурудзи залежно від способів застосування добрив, %

Варіант досліду (чинник А)		Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
		2023	2024	2025	
Без позакореневого підживлення (чинник В)					
Без добрив (контроль)		0,19	0,24	0,18	0,20
N_{80}		0,19	0,23	0,18	0,20
N_{160}		0,18	0,22	0,23	0,21
$P_{60}K_{110}$		0,21	0,22	0,22	0,22
$N_{80}P_{30}K_{55}$		0,20	0,23	0,22	0,22
$N_{160}P_{60}K_{110}$		0,18	0,21	0,23	0,21
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)		0,22	0,26	0,19	0,22
N_{80}		0,21	0,25	0,19	0,22
N_{160}		0,20	0,22	0,22	0,21
$P_{60}K_{110}$		0,22	0,25	0,23	0,23
$N_{80}P_{30}K_{55}$		0,21	0,25	0,23	0,23
$N_{160}P_{60}K_{110}$		0,20	0,22	0,23	0,22
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)		0,23	0,25	0,19	0,22
N_{80}		0,22	0,22	0,20	0,21
N_{160}		0,21	0,23	0,23	0,22
$P_{60}K_{110}$		0,24	0,25	0,24	0,24
$N_{80}P_{30}K_{55}$		0,22	0,25	0,22	0,23
$N_{160}P_{60}K_{110}$		0,22	0,22	0,23	0,22
$НІР_{05}$	А	0,01	0,01	0,01	–
	В	0,01	0,01	0,01	–

Вміст фосфору в зерні кукурудзи залежав від системи мінерального живлення, року проведення досліджень і позакореневого застосування Брексіл™ Мікс. Без позакореневого підживлення середній за три роки

вміст фосфору змінювався від 0,20 до 0,22 %. На контролі та за внесення N_{80} він становив 0,20 %, за N_{160} і $N_{160}P_{60}K_{110}$ – 0,21 %, а на фонах $P_{60}K_{110}$ та $N_{80}P_{30}K_{55}$ – 0,22 %. Отже, фосфорно–калійне та комплексне удобрення з помірними дозами поживних речовин забезпечувало дещо вищу концентрацію фосфору в зерні порівняно з контролем і чистими азотними фонами.

За роками досліджень вміст фосфору змінювався сильніше, ніж за середніми трирічними значеннями. У 2023 р. він становив 0,18–0,21 %, у 2024 р. – 0,21–0,24 %, а у 2025 р. – 0,18–0,23 %. Отже, найвищі показники в більшості варіантів отримано у 2024 р., тоді як у 2023 р. і на окремих варіантах у 2025 р. вміст фосфору був нижчим. Найвиразнішу реакцію на систему мінерального живлення зафіксовано у 2025 р.: за внесення N_{160} та $N_{160}P_{60}K_{110}$ уміст фосфору становив 0,23 %, тоді як на контролі й за N_{80} – 0,18 %.

Одноразове застосування Брексіл™ Мікс підвищувало середній за три роки вміст фосфору в зерні до 0,21–0,23 %. Найвищий показник – 0,23 % – встановлено на фоні $P_{60}K_{110}$ і $N_{80}P_{30}K_{55}$, тоді як на контролі та за N_{80} він становив 0,22 %. За дворазового застосування середній уміст фосфору змінювався від 0,21 до 0,24 %. Максимальне значення – 0,24 % – одержано на фоні $P_{60}K_{110}$.

Порівняно з варіантами без позакореневого підживлення одноразове та дворазове внесення препарату сприяло підвищенню середнього вмісту фосфору на 0,01–0,02 відсоткового пункту. Найстабільніше підвищення спостерігалося на контролі та фоні $P_{60}K_{110}$. На фоні N_{160} дія препарату була слабкою: за одноразового внесення середній показник не відрізнявся від варіанта без підживлення, а за дворазового зростав лише на 0,01 відсоткового пункту.

Вміст фосфору у стеблах був нижчим, ніж у зерні, та більшою мірою залежав від фонду мінерального живлення (табл. 5.20). Без позакореневого підживлення середній показник на контролі й за N_{80} становив 0,12 %, за

N_{160} – 0,13 %, на фоні $P_{60}K_{110}$ – 0,15 %, а за $N_{80}P_{30}K_{55}$ і $N_{160}P_{60}K_{110}$ – 0,16 %. Отже, внесення фосфорних добрив забезпечувало чіткіше підвищення концентрації фосфору у вегетативній масі, ніж застосування азотних добрив без фосфорної складової.

Таблиця 5.20

Вміст фосфору в стеблах кукурудзи залежно від способів застосування добрив, %

Варіант досліду (чинник А)		Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
		2023	2024	2025	
Без позакореневого підживлення (чинник В)					
Без добрив (контроль)		0,12	0,11	0,14	0,12
N_{80}		0,13	0,11	0,13	0,12
N_{160}		0,13	0,12	0,14	0,13
$P_{60}K_{110}$		0,14	0,14	0,16	0,15
$N_{80}P_{30}K_{55}$		0,15	0,15	0,17	0,16
$N_{160}P_{60}K_{110}$		0,16	0,15	0,17	0,16
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)		0,11	0,12	0,13	0,12
N_{80}		0,12	0,12	0,12	0,12
N_{160}		0,12	0,13	0,13	0,13
$P_{60}K_{110}$		0,15	0,16	0,16	0,16
$N_{80}P_{30}K_{55}$		0,16	0,16	0,17	0,16
$N_{160}P_{60}K_{110}$		0,16	0,17	0,18	0,17
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)		0,11	0,11	0,12	0,11
N_{80}		0,12	0,11	0,11	0,11
N_{160}		0,12	0,12	0,13	0,12
$P_{60}K_{110}$		0,13	0,15	0,16	0,15
$N_{80}P_{30}K_{55}$		0,14	0,15	0,16	0,15
$N_{160}P_{60}K_{110}$		0,15	0,16	0,17	0,16
$НІР_{05}$	А	0,01	0,01	0,01	–
	В	0,01	0,01	0,01	–

За внесення $P_{60}K_{110}$ середній уміст фосфору у стеблах був на 0,03 відсоткового пункту вищим, ніж на контролі, а за $N_{80}P_{30}K_{55}$ і $N_{160}P_{60}K_{110}$ – на 0,04 відсоткового пункту. Це підтверджує визначальну роль

фосфорного живлення у формуванні його концентрації у вегетативних органах кукурудзи.

Одноразове позакореневе підживлення підвищувало вміст фосфору у стеблах переважно на фосфорних фонах. Середній показник за $P_{60}K_{110}$ зростав до 0,16 %, а за $N_{80}P_{30}K_{55}$ – також до 0,16 %. На фоні $N_{160}P_{60}K_{110}$ він становив 0,17 %, що на 0,01 відсоткового пункту вище порівняно з варіантом без підживлення. На контролі, за N_{80} і N_{160} зміни були мінімальними.

За дворазового застосування середній уміст фосфору у стеблах становив 0,11–0,16 %. Порівняно з одноразовим підживленням дворазове внесення не забезпечувало додаткового стабільного приросту. На контролі, за N_{80} і N_{160} показник був на 0,01 відсоткового пункту нижчим, тоді як на фонах $P_{60}K_{110}$, $N_{80}P_{30}K_{55}$ і $N_{160}P_{60}K_{110}$ залишався на рівні 0,15–0,16 %.

Найвищі значення в більшості варіантів сформувалися у 2025 р., коли на фоні $N_{160}P_{60}K_{110}$ уміст фосфору становив 0,17–0,18 %. У 2024 р. найвищий показник – 0,17 % – також отримано за $N_{160}P_{60}K_{110}$ та одноразового застосування Брексіл™ Мікс. Отже, уміст фосфору у стеблах визначався переважно наявністю фосфорних добрив у системі живлення, тоді як позакореневе підживлення мало другорядний і нестабільний вплив.

Господарське винесення фосфору зерном і стеблами визначалося не лише його концентрацією, а й величиною врожаю відповідної частини рослин (табл. 5.21). У більшості варіантів винесення фосфору зерном було вищим, ніж стеблами. На контролі без позакореневого підживлення зерно виносило 19,8–20,2 кг/га фосфору, а стебла – 11,5–20,4 кг/га. За N_{80} відповідні значення становили 21,9–26,6 і 16,1–21,4 кг/га.

Таблиця 5.21

Господарське винесення фосфору врожаєм кукурудзи залежно від способів застосування добрив, кг/га

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень					
	2023	2024	2025	2023	2024	2025
	Зерно			Стебла		
Без позакореневого підживлення (чинник В)						
Без добрив (контроль)	20,0	20,2	19,8	15,1	11,5	20,4
N_{80}	25,0	26,6	21,9	21,2	16,1	21,4
N_{160}	24,8	27,8	32,2	24,1	26,3	26,7
$P_{60}K_{110}$	23,6	19,2	24,4	19,3	14,9	23,2
$N_{80}P_{30}K_{55}$	27,2	27,9	28,8	26,3	23,5	30,8
$N_{160}P_{60}K_{110}$	25,1	26,8	32,5	31,5	34,0	33,7
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га						
Без добрив (контроль)	23,3	22,3	21,1	13,8	12,9	19,3
N_{80}	28,0	29,6	23,4	19,8	17,9	20,0
N_{160}	27,9	28,4	31,2	22,5	29,0	25,1
$P_{60}K_{110}$	24,9	22,3	25,8	20,9	17,6	23,6
$N_{80}P_{30}K_{55}$	29,0	31,0	30,5	28,7	25,6	31,0
$N_{160}P_{60}K_{110}$	28,3	28,7	32,9	32,2	39,7	36,4
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га						
Без добрив (контроль)	24,4	21,5	21,1	14,0	11,8	17,9
N_{80}	29,3	26,0	24,6	20,0	16,6	18,4
N_{160}	29,3	29,7	32,7	22,5	26,9	25,6
$P_{60}K_{110}$	27,3	22,2	26,9	18,3	16,4	23,7
$N_{80}P_{30}K_{55}$	30,3	31,0	29,2	24,9	24,2	29,4
$N_{160}P_{60}K_{110}$	31,1	28,7	33,0	29,8	37,0	34,0

Застосування N_{160} збільшувало винесення фосфору зерном до 24,8–32,2 кг/га, а стеблами – до 24,1–26,7 кг/га. На фоні $P_{60}K_{110}$ значення були менш стабільними: зерно виносило 19,2–24,4, а стебла – 14,9–23,2 кг/га. За $N_{80}P_{30}K_{55}$ винесення зерном становило 27,2–28,8, стеблами – 23,5–30,8 кг/га. Максимальні без підживлення показники сформувалися за $N_{160}P_{60}K_{110}$: 25,1–32,5 кг/га зерном і 31,5–34,0 кг/га стеблами.

За одноразового застосування Брексіл™ Мікс винесення фосфору

зерном збільшувалося на більшості фонів. Середній за роки показник зростав від 17,8 до 18,8 кг/га на контролі, від 22,0 до 23,1 кг/га за N_{80}, від 27,0 до 27,4 кг/га за N_{160}, від 20,8 до 22,5 кг/га за $P_{60}K_{110}$, від 27,4 до 29,3 кг/га за $N_{80}P_{30}K_{55}$ і від 30,6 до 33,0 кг/га за $N_{160}P_{60}K_{110}$. Найбільший приріст спостерігався на повному NPK–фоні.

Дворазове застосування препарату також підвищувало винесення фосфору зерном на більшості фонів, але не завжди перевищувало одноразовий варіант. Найвище середнє значення – 32,9 кг/га – отримано за $N_{160}P_{60}K_{110}$, а за $N_{80}P_{30}K_{55}$ – 28,2 кг/га. На контролі середнє винесення становило 22,0 кг/га, за N_{80} – 26,6, за N_{160} – 30,6, а за $P_{60}K_{110}$ – 25,5 кг/га.

Винесення фосфору стеблами було більш мінливим. У 2024 р. на фоні $N_{160}P_{60}K_{110}$ за одноразового підживлення воно досягало 39,7 кг/га, що було найвищим значенням у таблиці. За дворазового застосування максимум становив 37,0 кг/га. Отже, підвищення концентрації фосфору в стеблах і збільшення їхньої маси могли істотно посилювати винесення елемента навіть за відносно невисокої його концентрації.

Загальне господарське винесення фосфору врожаєм кукурудзи змінювалося від 31,7 до 69,4 кг/га залежно від варіанта та року (табл. 5.22). Без позакореневого підживлення на контролі воно становило 31,7–40,3 кг/га, за N_{80} – 42,7–46,2, за N_{160} – 48,9–58,9, на фоні $P_{60}K_{110}$ – 34,1–47,6, за $N_{80}P_{30}K_{55}$ – 51,4–59,6, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – 56,6–66,3 кг/га.

За середніми трирічними значеннями без підживлення загальне винесення становило 35,7 кг/га на контролі, 44,1 – за N_{80}, 53,9 – за N_{160}, 41,5 – за $P_{60}K_{110}$, 54,8 – за $N_{80}P_{30}K_{55}$ і 61,2 кг/га за $N_{160}P_{60}K_{110}$. Порівняно з контролем воно збільшувалося на 23,5 % за N_{80}, 51,2 % за N_{160}, 16,4 % за $P_{60}K_{110}$, 53,7 % за $N_{80}P_{30}K_{55}$ і 71,6 % за повного NPK–удобрення.

Отже, найвищий рівень господарського винесення фосфору формувався за повного мінерального удобрення. Водночас за $N_{80}P_{30}K_{55}$ сумарне винесення було близьким до N_{160}, що свідчить про значний вплив рівня азотного живлення на формування біомаси й продуктивності кукурудзи.

Таблиця 5.22

Загальне господарське винесення фосфору врожаєм кукурудзи залежно від способів застосування добрив, кг/га

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень		
	2023	2024	2025
Без позакореневого підживлення (чинник В)			
Без добрив (контроль)	35,0	31,7	40,3
N_{80}	46,2	42,7	43,3
N_{160}	48,9	54,0	58,9
$P_{60}K_{110}$	42,9	34,1	47,6
$N_{80}P_{30}K_{55}$	53,5	51,4	59,6
$N_{160}P_{60}K_{110}$	56,6	60,8	66,3
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	37,1	35,3	40,4
N_{80}	47,8	47,5	43,4
N_{160}	50,4	57,4	56,4
$P_{60}K_{110}$	45,9	39,9	49,4
$N_{80}P_{30}K_{55}$	57,6	56,6	61,5
$N_{160}P_{60}K_{110}$	60,5	68,4	69,4
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	38,4	33,3	39,0
N_{80}	49,3	42,6	43,1
N_{160}	51,8	56,6	58,3
$P_{60}K_{110}$	45,6	38,6	50,6
$N_{80}P_{30}K_{55}$	55,2	55,1	58,6
$N_{160}P_{60}K_{110}$	60,9	65,7	67,0

Одноразове застосування Брексіл™ Мікс збільшувало середнє за три роки загальне винесення фосфору на 0,9–4,9 кг/га залежно від фону. Найбільший приріст одержано на фоні $N_{160}P_{60}K_{110}$ – із 61,2 до 66,1 кг/га, а також на $P_{60}K_{110}$ і $N_{80}P_{30}K_{55}$. Дворазове застосування підвищувало показник на 0,8–3,7 кг/га. На більшості фонів ефект одноразового внесення був не меншим, а іноді більшим, ніж дворазового.

За роками найвищі значення переважно встановлено у 2025 р. на фоні $N_{160}P_{60}K_{110}$ – 66,3 кг/га без підживлення, 69,4 кг/га за одноразового та 67,0 кг/га за дворазового застосування. Винятком був 2024 р., коли за одноразового застосування на цьому ж фоні загальне винесення становило

68,4 кг/га.

Відносне винесення фосфору зерном кукурудзи без позакореневого підживлення становило 1,8–2,4 кг/т, а стеблами – 1,1–1,7 кг/т (табл. 5.23). На контролі цей показник для зерна змінювався від 1,8 до 2,4 кг/т, за N_{80} – від 1,8 до 2,3, за N_{160} – від 1,8 до 2,3, $P_{60}K_{110}$ – від 2,1 до 2,2, $N_{80}P_{30}K_{55}$ – від 2,0 до 2,3, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – від 1,8 до 2,3 кг/т. Найвище значення без позакореневого підживлення встановлено на контролі у 2024 р. – 2,4 кг/т.

Таблиця 5.23

Відносне винесення фосфору врожаєм кукурудзи залежно від способів застосування добрив, кг/т

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень					
	2023	2024	2025	2023	2024	2025
	Зерно			Стебла		
Без позакореневого підживлення (чинник В)						
Без добрив (контроль)	1,9	2,4	1,8	1,2	1,1	1,4
N_{80}	1,9	2,3	1,8	1,3	1,1	1,3
N_{160}	1,8	2,2	2,3	1,3	1,2	1,4
$P_{60}K_{110}$	2,1	2,2	2,2	1,4	1,4	1,6
$N_{80}P_{30}K_{55}$	2,0	2,3	2,2	1,5	1,5	1,7
$N_{160}P_{60}K_{110}$	1,8	2,1	2,3	1,6	1,5	1,7
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га						
Без добрив (контроль)	2,2	2,6	1,9	1,1	1,2	1,3
N_{80}	2,1	2,5	1,9	1,2	1,2	1,2
N_{160}	2,0	2,2	2,2	1,2	1,3	1,3
$P_{60}K_{110}$	2,2	2,5	2,3	1,5	1,6	1,6
$N_{80}P_{30}K_{55}$	2,1	2,5	2,3	1,6	1,6	1,7
$N_{160}P_{60}K_{110}$	2,0	2,2	2,3	1,6	1,7	1,8
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га						
Без добрив (контроль)	2,3	2,5	1,9	1,1	1,1	1,2
N_{80}	2,2	2,2	2,0	1,2	1,1	1,1
N_{160}	2,1	2,3	2,3	1,2	1,2	1,3
$P_{60}K_{110}$	2,4	2,5	2,4	1,3	1,5	1,6
$N_{80}P_{30}K_{55}$	2,2	2,5	2,2	1,4	1,5	1,6
$N_{160}P_{60}K_{110}$	2,2	2,2	2,3	1,5	1,6	1,7

Відносне винесення фосфору стеблами загалом підвищувалося на фонах комплексного мінерального удобрення, особливо за наявності фосфорної складової. На контролі воно становило 1,1–1,4 кг/т, за N_{80} – 1,1–1,3, за N_{160} – 1,2–1,4, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – 1,5–1,7 кг/т. Отже, на фонах повного та неповного NPK–удобрення стебла містили більше фосфору в розрахунку на одиницю маси порівняно з контролем і чистими азотними фонами.

Одноразове застосування Брексіл™ Мікс переважно підвищувало відносне винесення фосфору зерном, однак величина ефекту залежала від року та фону мінерального живлення. У 2023 р. показник становив 2,0–2,2 кг/т, у 2024 р. – 2,2–2,6, а у 2025 р. – 1,9–2,3 кг/т. Максимальне значення за одноразового застосування отримано у 2024 р. на контролі – 2,6 кг/т. На фонах N_{80}, $P_{60}K_{110}$ і $N_{80}P_{30}K_{55}$ у цьому році воно становило 2,5 кг/т.

За дворазового застосування відносне винесення фосфору зерном змінювалося від 1,9 до 2,5 кг/т. Максимальні значення – 2,5 кг/т – встановлено у 2024 р. на фонах $P_{60}K_{110}$ і $N_{80}P_{30}K_{55}$. Відносне винесення стеблами за цього способу застосування становило 1,1–1,7 кг/т, а найвищий показник отримано у 2025 р. на фоні $N_{160}P_{60}K_{110}$. Загалом позакореневе підживлення дещо підвищувало відносне винесення фосфору зерном, однак чіткої та сталої переваги дворазового застосування над одноразовим не встановлено.

Сумарне відносне винесення фосфору в розрахунку на 1 т зерна та відповідної кількості стебел змінювалося від 3,3 до 5,2 кг/т (табл. 5.24). Без позакореневого підживлення на контролі воно становило 3,3–3,8 кг/т, за N_{80} – 3,5–3,7, за N_{160} – 3,5–4,3, на фоні $P_{60}K_{110}$ – 3,8–4,3, за $N_{80}P_{30}K_{55}$ – 3,9–4,6, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – 4,1–4,8 кг/т.

Найвищі середні значення без підживлення отримано на фоні $N_{160}P_{60}K_{110}$ – 4,53 кг/т, тоді як на контролі – 3,60 кг/т. Одноразове застосування підвищувало середнє значення до 4,77 кг/т на повному NPK–

фоні, а дворазове – до 4,67 кг/т. Найбільш виражений ефект підживлення встановлено на фоні $P_{60}K_{110}$: із 4,0 до 4,3–4,27 кг/т, а також на $N_{160}P_{60}K_{110}$.

Таблиця 5.24

Відносне винесення фосфору врожаєм кукурудзи залежно від способів застосування добрив, кг/т зерна та відповідної кількості стебел

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень		
	2023	2024	2025
Без позакореневого підживлення (чинник В)			
Без добрив (контроль)	3,3	3,8	3,7
N_{80}	3,5	3,7	3,6
N_{160}	3,5	4,3	4,2
$P_{60}K_{110}$	3,8	3,9	4,3
$N_{80}P_{30}K_{55}$	3,9	4,2	4,6
$N_{160}P_{60}K_{110}$	4,1	4,8	4,7
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	3,5	4,1	3,6
N_{80}	3,6	4,0	3,5
N_{160}	3,6	4,4	4,0
$P_{60}K_{110}$	4,0	4,5	4,4
$N_{80}P_{30}K_{55}$	4,2	4,6	4,6
$N_{160}P_{60}K_{110}$	4,3	5,2	4,8
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	3,6	3,9	3,5
N_{80}	3,7	3,6	3,5
N_{160}	3,7	4,4	4,1
$P_{60}K_{110}$	4,0	4,3	4,5
$N_{80}P_{30}K_{55}$	4,0	4,4	4,4
$N_{160}P_{60}K_{110}$	4,3	5,0	4,7

На фоні N_{80} різниця між способами застосування була мінімальною, а за $N_{80}P_{30}K_{55}$ перевага одноразового підживлення над дворазовим була чіткішою. Отже, збільшення норми або кратності внесення Брексіл™ Мікс не супроводжувалося пропорційним зростанням відносного винесення фосфору.

Розподіл фосфору між зерном і стеблами характеризувався переважним накопиченням елемента у зерні (табл. 5.25). Частка фосфору в

зерні становила 6–14 %, а у стеблах – 4–8 %. Найвищу частку фосфору в зерні без позакореневого підживлення отримано на контролі у 2024 р. – 13 %, на фоні $P_{60}K_{110}$ у 2025 р. – 13 %, а найнижчу – за N_{160} і $N_{160}P_{60}K_{110}$ у 2023–2024 рр. – 6–8 %.

Таблиця 5.25

Частка фосфору в урожаї зерна та стебел кукурудзи залежно від способів застосування добрив, %

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень					
	2023	2024	2025	2023	2024	2025
	Зерно			Стебла		
Без позакореневого підживлення (чинник В)						
Без добрив (контроль)	10	13	10	7	7	8
N_{80}	8	10	10	6	5	6
N_{160}	8	10	11	4	4	5
$P_{60}K_{110}$	11	12	13	6	6	6
$N_{80}P_{30}K_{55}$	9	10	11	5	5	5
$N_{160}P_{60}K_{110}$	8	8	11	5	5	5
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га						
Без добрив (контроль)	11	14	11	6	7	7
N_{80}	9	11	10	5	5	5
N_{160}	9	9	11	4	5	4
$P_{60}K_{110}$	11	13	13	6	6	6
$N_{80}P_{30}K_{55}$	9	11	11	5	5	5
$N_{160}P_{60}K_{110}$	9	9	11	5	5	5
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га						
Без добрив (контроль)	11	13	11	6	6	7
N_{80}	10	10	10	5	5	5
N_{160}	9	10	11	4	4	4
$P_{60}K_{110}$	12	12	13	5	6	6
$N_{80}P_{30}K_{55}$	10	11	11	5	5	5
$N_{160}P_{60}K_{110}$	9	9	11	4	5	5

Одноразове застосування Брексіл™ Мікс збільшувало частку фосфору в зерні переважно на контролі, на фоні $P_{60}K_{110}$ і в окремих роках за комплексного удобрення. За дворазового застосування найвищі значення

одержано на фоні $P_{60}K_{110}$ – 12 % у 2023 і 2024 рр. та 13 % у 2025 р. Водночас на азотних фонах частка фосфору в зерні залишалася на рівні 9–11 %.У стеблах частка фосфору була нижчою та переважно становила 4–7 %. На контролі без підживлення вона дорівнювала 7–8 %, тоді як за N_{160} і $N_{160}P_{60}K_{110}$ знижувалася до 4–5 %. На фосфорно–калійному фоні частка становила 5–6 %.

Частка фосфору в загальному господарському винесенні врожаєм кукурудзи змінювалася в межах 6–10 % (табл. 5.26). Без позакореневого підживлення на контролі вона становила 8–10 %, за N_{80} – 7 %, за N_{160} – 6–7 %, на фоні $P_{60}K_{110}$ – 8 %, за $N_{80}P_{30}K_{55}$ – 6–7 %, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – 6–7 %.

Таблиця 5.26

Частка фосфору в загальному господарському винесенні врожаєм кукурудзи залежно від способів застосування добрив, %

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень		
	2023	2024	2025
Без позакореневого підживлення (чинник В)			
Без добрив (контроль)	8	10	9
N_{80}	7	7	7
N_{160}	6	6	7
$P_{60}K_{110}$	8	8	8
$N_{80}P_{30}K_{55}$	6	7	7
$N_{160}P_{60}K_{110}$	6	6	7
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	9	10	9
N_{80}	7	8	7
N_{160}	6	6	6
$P_{60}K_{110}$	8	9	8
$N_{80}P_{30}K_{55}$	7	7	7
$N_{160}P_{60}K_{110}$	6	6	7
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	9	10	8
N_{80}	7	7	7
N_{160}	6	6	7
$P_{60}K_{110}$	7	9	8
$N_{80}P_{30}K_{55}$	6	7	7
$N_{160}P_{60}K_{110}$	6	6	7

Отже, зі зростанням рівня мінерального живлення та продуктивності посіву частка фосфору в загальному господарському винесенні переважно зменшувалася. Найвищі значення формувалися на контролі, а найнижчі – за N_{160} і повного NPK–удобрення. Це може бути пов'язано з тим, що за інтенсивнішого живлення збільшувалося сумарне винесення азоту й калію, тоді як частка фосфору в загальному балансі залишалася відносно стабільною.

Позакореневе застосування Брексіл™ Мікс збільшувало частку фосфору на контролі та окремих фонах. За одноразового внесення на контролі вона становила 9–10 %, а за дворазового – 8–10 %. На фоні $N_{160}P_{60}K_{110}$ показник залишався на рівні 6–7 % незалежно від способу застосування. Загалом ефект препарату був невеликим і не мав стабільної спрямованості.

Баланс фосфору за умови залишення стебел на полі визначався співвідношенням його надходження з добривами та винесенням зерном (табл. 5.27). За відсутності фосфорних добрив баланс був від'ємним у всі роки. На контролі він становив −19,8…−20,2 кг/га, за N_{80} − −21,9…−26,6, а за N_{160} − −24,8…−32,2 кг/га. Отже, підвищення дози азотних добрив без внесення фосфору збільшувало винесення фосфору зерном і посилювало дефіцит його балансу.

Внесення фосфорних добрив змінювало баланс на додатний. За $P_{60}K_{110}$ без позакореневого підживлення він становив 35,6–40,8 кг/га, за $N_{80}P_{30}K_{55}$ − 6,2–7,8, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ − 27,5–34,9 кг/га. Найменший додатний баланс за $N_{80}P_{30}K_{55}$ пояснюється нижчою дозою фосфору − 30 кг/га − та порівняно високим винесенням цього елемента врожаєм.

Одноразове застосування Брексіл™ Мікс збільшувало дефіцит фосфору на фонах без фосфорних добрив. Середній показник на контролі змінювався від −20,0 до −22,2 кг/га, за N_{80} − від −24,5 до −27,0, а за N_{160} − від −28,3 до −29,2 кг/га. На фонах із фосфорними добривами додатний баланс зменшувався: за $P_{60}K_{110}$ − із 37,6 до 35,7, за $N_{80}P_{30}K_{55}$ − із 7,0 до 4,8,

а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ − із 31,9 до 30,0 кг/га.

Таблиця 5.27

Баланс фосфору за вирощування кукурудзи із залишенням стебел залежно від способів застосування добрив, кг/га

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень		
	2023	2024	2025
Без позакореневого підживлення (чинник В)			
Без добрив (контроль)	–20,0	–20,2	–19,8
N_{80}	–25,0	–26,6	–21,9
N_{160}	–24,8	–27,8	–32,2
$P_{60}K_{110}$	36,4	40,8	35,6
$N_{80}P_{30}K_{55}$	7,8	7,1	6,2
$N_{160}P_{60}K_{110}$	34,9	33,2	27,5
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	–23,3	–22,3	–21,1
N_{80}	–28,0	–29,6	–23,4
N_{160}	–27,9	–28,4	–31,2
$P_{60}K_{110}$	35,1	37,7	34,2
$N_{80}P_{30}K_{55}$	6,0	4,0	4,5
$N_{160}P_{60}K_{110}$	31,7	31,3	27,1
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	–24,4	–21,5	–21,1
N_{80}	–29,3	–26,0	–24,6
N_{160}	–29,3	–29,7	–32,7
$P_{60}K_{110}$	32,7	37,8	33,1
$N_{80}P_{30}K_{55}$	4,7	4,0	5,8
$N_{160}P_{60}K_{110}$	28,9	31,3	27,0

За дворазового внесення тенденція була подібною. Дефіцит на неудобреному фоні та азотних системах посилювався, а додатний баланс на фосфорних фонах зменшувався. Максимальне зниження додатного балансу порівняно з варіантами без підживлення встановлено на $P_{60}K_{110}$ − у середньому приблизно на 3,1 кг/га. На фоні $N_{80}P_{30}K_{55}$ баланс зменшувався приблизно на 2,2 кг/га, а за повного NPK–живлення − на 2,8 кг/га.

Отже, за умови залишення стебел на полі внесення P_{30}–P_{60} забезпечувало додатний баланс фосфору, тоді як на фонах без фосфорних добрив він залишався від’ємним. Підвищення азотного живлення без

компенсації фосфору посилювало його дефіцит. Позакореневе застосування Брексіл™ Мікс, збільшуючи продуктивність або винесення фосфору зерном, дещо зменшувало додатний баланс на удобрених фосфором фонах і посилювало дефіцит на варіантах без фосфорних добрив.

Результати досліджень показали, що фосфорне живлення кукурудзи найбільш виразно визначалося внесенням фосфорних добрив у складі ґрунтової системи удобрення. Найвищий уміст фосфору в зерні та стеблах переважно формувався на фоні $P_{60}K_{110}$, $N_{80}P_{30}K_{55}$ і $N_{160}P_{60}K_{110}$. Азотні системи без фосфорної складової не забезпечували сталої закономірності щодо концентрації фосфору, хоча підвищували його господарське винесення завдяки формуванню більшого врожаю.

Господарське та відносне винесення фосфору зростало зі збільшенням рівня мінерального живлення, особливо на фоні повного NPK–удобрення. Найбільші показники загального винесення встановлено за $N_{160}P_{60}K_{110}$, що було наслідком поєднання високої продуктивності посіву, підвищеного вмісту фосфору та значної маси стебел.

Позакореневе застосування Брексіл™ Мікс переважно підвищувало вміст фосфору в зерні та збільшувало його господарське винесення. Найвиразніший ефект спостерігався у 2024 р. і на фонах $P_{60}K_{110}$ та $N_{160}P_{60}K_{110}$. Вплив дворазового застосування не мав сталої переваги над одноразовим, тому підвищення кратності внесення не можна вважати універсально ефективнішим за одноразове застосування.

Баланс фосфору за залишення стебел на полі був від’ємним на контролі та азотних фонах, а внесення P_{30}–P_{60} забезпечувало його додатне значення. Підвищення доз азотних добрив без фосфорної компенсації посилювало дефіцит фосфору. Застосування Брексіл™ Мікс дещо збільшувало винесення елемента та, відповідно, зменшувало додатний баланс на фосфорних фонах або посилювало його дефіцит за відсутності фосфорних добрив.

5.4 Магній

Магній відіграє важливу роль у рості й розвитку кукурудзи, оскільки входить до складу молекули хлорофілу, бере участь у фотосинтезі, активуванні ферментів, енергетичному обміні, синтезі білків і транспортуванні пластичних речовин. Його надходження до рослин залежить від умісту доступних форм у ґрунті, умов зволоження, розвитку кореневої системи та співвідношення з іншими катіонами, передусім калієм і амонійним азотом. Тому реакція кукурудзи на магній може суттєво змінюватися залежно від системи основного удобрення та позакореневого підживлення [77].

Застосування різного сценарію удобрення кукурудзи також змінювало вміст магнію в зерні кукурудзи (табл. 5.28). При цьому чіткої тенденції впливу удобрення на вміст магнію також не встановлено. На тлі без позакореневого підживлення системи з повним мінеральним добривом достовірно підвищували вміст магнію в зерні в 2023 і 2025 рр., а в 2024 р. його вміст знижувався на всіх системах удобрення. Азотні та фосфорно–калійна системи знижували вміст магнію в зерні.

Одноразове та дворазове застосування препарату Брексіл™ Мікс достовірно підвищувало вміст магнію в зерні за вирощування кукурудзи на азотних системах удобрення. На фосфорно-калійному фоні та за повного мінерального удобрення реакція показника залежала від року досліджень і кратності позакореневого підживлення. Зокрема, дворазове застосування Брексіл™ Мікс на фоні $P_{60}K_{110}$ підвищувало середній уміст магнію з 1080 до 1190 мг/кг. Різноспрямована реакція вмісту магнію на фони мінерального живлення може бути пов’язана із взаємодією між елементами в ґрунті та рослинах, а також з ефектом розбавлення за зміни врожайності. Встановлення конкретного механізму потребує даних про доступність елементів у ґрунті та динаміку їх накопичення рослинами.

Таблиця 5.28

Вміст магнію в зерні кукурудзи залежно від способів застосування добрив, мг/кг

Варіант досліду (чинник А)		Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
		2023	2024	2025	
Без позакореневого підживлення (чинник В)					
Без добрив (контроль)		1110	1210	1130	1150
N_{80}		1100	1100	1110	1100
N_{160}		1080	1120	1100	1100
$P_{60}K_{110}$		1120	1050	1060	1080
$N_{80}P_{30}K_{55}$		1120	1180	1150	1150
$N_{160}P_{60}K_{110}$		1140	1110	1120	1120
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)		1130	1110	1150	1130
N_{80}		1110	1100	1160	1120
N_{160}		1190	1170	1190	1180
$P_{60}K_{110}$		1110	1030	1100	1080
$N_{80}P_{30}K_{55}$		1090	1100	1140	1110
$N_{160}P_{60}K_{110}$		1100	1100	1120	1110
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)		1150	1390	1190	1240
N_{80}		1130	1280	1210	1210
N_{160}		1120	1230	1200	1180
$P_{60}K_{110}$		1140	1250	1190	1190
$N_{80}P_{30}K_{55}$		1100	1150	1180	1140
$N_{160}P_{60}K_{110}$		1080	1160	1150	1130
$НІР_{05}$	А	40	30	30	–
	В	30	30	20	–

Вміст магнію в зерні кукурудзи залежав від фону мінерального живлення, погодних умов року та способу застосування Брексіл™ Мікс (табл. 5.28). Без позакореневого підживлення середнє за три роки значення змінювалося у відносно вузькому діапазоні – від 1080 до 1150 мг/кг. Найвищий уміст магнію встановлено на контролі та за $N_{80}P_{30}K_{55}$ – 1150 мг/кг, а найнижчий – на фоні $P_{60}K_{110}$, де він становив 1080 мг/кг. За N_{80} і N_{160} показник дорівнював 1100 мг/кг, а за повного

мінерального удобрення $N_{160}P_{60}K_{110}$ – 1120 мг/кг. Отже, система основного удобрення не формувала прямої залежності між інтенсивністю живлення та накопиченням магнію в зерні.

Реакція рослин значною мірою залежала від року дослідження. У 2023 р. без позакореневого підживлення вміст магнію становив 1080–1140 мг/кг, у 2024 р. – 1050–1210, а у 2025 р. – 1060–1150 мг/кг. У 2024 р. найвищий показник одержано на контролі – 1210 мг/кг, тоді як застосування мінеральних добрив переважно його знижувало. У 2023 і 2025 рр. найвище значення серед удобрених варіантів сформувалося за $N_{160}P_{60}K_{110}$ і $N_{80}P_{30}K_{55}$ відповідно. Отже, варіювання показників за роками досліджень було пов'язане з різними умовами поглинання магнію, формування врожаю та його перерозподілу до зерна.

Одноразове застосування Брексіл™ Мікс неоднаково впливало на вміст магнію. У середньому за три роки показник зростав із 1100 до 1120 мг/кг за N_{80} і до 1180 мг/кг за N_{160}. На контролі він знижувався з 1150 до 1130 мг/кг, за $N_{80}P_{30}K_{55}$ – із 1150 до 1110, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – із 1120 до 1110 мг/кг. На фоні $P_{60}K_{110}$ середній показник залишався на рівні 1080 мг/кг. Отже, найбільш виразна реакція на одноразове підживлення проявилася за внесення N_{160}.

Дворазове застосування Брексіл™ Мікс забезпечувало вищі середні значення на більшості фонів. На контролі вміст магнію зростав до 1240 мг/кг, за N_{80} – до 1210, N_{160} – до 1180, $P_{60}K_{110}$ – до 1190, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – до 1130 мг/кг. На фоні $N_{80}P_{30}K_{55}$ він становив 1140 мг/кг і був близьким до варіанта без підживлення. Найвиразніший ефект дворазового застосування зафіксовано у 2024 р., коли вміст магнію досягав 1390 мг/кг на контролі, 1280 мг/кг за N_{80}, 1230 мг/кг за N_{160} і 1250 мг/кг на фоні $P_{60}K_{110}$.

$НІР_{05}$ для чинника А становила 30–40 мг/кг, а для чинника В – 20–30 мг/кг. Тому більшість установлених змін за дворазового підживлення, особливо у 2024 р., перевищували межі найменшої істотної різниці. Загалом дворазове застосування препарату ефективніше підвищувало вміст

магнію в зерні, тоді як дія одноразового внесення значною мірою залежала від фону живлення.

Вміст магнію у стеблах був вищим і змінювався у ширшому діапазоні, ніж у зерні (табл. 5.29). Без позакореневого підживлення середній показник зростав від 1419 мг/кг на контролі до 2736 мг/кг за N_{80} і 2943 мг/кг за N_{160}. На фоні $P_{60}K_{110}$ він становив 1742 мг/кг, за $N_{80}P_{30}K_{55}$ – 2461, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – 2753 мг/кг.

Таблиця 5.29

Вміст магнію в стеблах кукурудзи залежно від способів застосування добрив, мг/кг

Варіант досліду (чинник А)		Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
		2023	2024	2025	
Без позакореневого підживлення (чинник В)					
Без добрив (контроль)		1352	1408	1498	1419
N_{80}		2556	2739	2914	2736
N_{160}		2891	2838	3100	2943
$P_{60}K_{110}$		1702	1725	1799	1742
$N_{80}P_{30}K_{55}$		2456	2412	2514	2461
$N_{160}P_{60}K_{110}$		2774	2544	2941	2753
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)		1997	2024	1874	1965
N_{80}		3101	2903	3124	3043
N_{160}		3227	3177	3312	3239
$P_{60}K_{110}$		2007	1998	2078	2028
$N_{80}P_{30}K_{55}$		3002	2505	2914	2807
$N_{160}P_{60}K_{110}$		3103	2512	3156	2924
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)		2013	1946	1925	1961
N_{80}		3197	3179	3269	3215
N_{160}		3321	3239	3479	3346
$P_{60}K_{110}$		2076	2061	2144	2094
$N_{80}P_{30}K_{55}$		3112	3190	3055	3119
$N_{160}P_{60}K_{110}$		3278	3294	3189	3254
$НІР_{05}$	А	78	82	84	–
	В	75	74	76	–

Порівняно з контролем внесення N_{80} збільшувало середній уміст магнію у стеблах на 92,8 %, а N_{160} – у 2,1 рази. За $P_{60}K_{110}$ приріст становив 22,8 %, за $N_{80}P_{30}K_{55}$ – 73,4 %, а за повного NPK–удобрення – 94,0 %. Отже, азотне живлення істотно посилювало накопичення магнію у вегетативній масі, тоді як фосфорно–калійний фон без азоту мав значно слабший вплив.

Одноразове позакореневе застосування Брексіл™ Мікс підвищувало середній уміст магнію у стеблах на всіх фонах. На контролі він зростав із 1419 до 1965 мг/кг, за N_{80} – із 2736 до 3043, N_{160} – із 2943 до 3239, $P_{60}K_{110}$ – із 1742 до 2028, $N_{80}P_{30}K_{55}$ – із 2461 до 2807, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – із 2753 до 2924 мг/кг. Приріст становив 171–546 мг/кг залежно від фону.

Дворазове застосування препарату загалом було ефективнішим. Середній уміст магнію становив 1961 мг/кг на контролі, 3215 – за N_{80}, 3346 – за N_{160}, 2094 – за $P_{60}K_{110}$, 3119 – за $N_{80}P_{30}K_{55}$ і 3254 мг/кг за $N_{160}P_{60}K_{110}$. Порівняно з варіантами без позакореневого підживлення приріст становив 352–658 мг/кг, за винятком контролю, де одно– і дворазове застосування забезпечували майже однаковий результат.

Найвище значення у стеблах – 3479 мг/кг – сформувалося у 2025 р. за N_{160} і дворазового застосування препарату. Високі показники також отримано у 2024 р. за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – 3294 мг/кг і у 2023 р. за N_{160} – 3321 мг/кг. Оскільки більшість приростів перевищувала $НІР_{05}$ для чинника В, яка становила 74–76 мг/кг, вплив позакореневого підживлення був статистично істотним. Отже, Брексіл™ Мікс значно сильніше впливав на накопичення магнію у стеблах, ніж у зерні.

Господарське винесення магнію визначалося концентрацією елемента та масою сформованого зерна і стебел (табл. 5.30). Без позакореневого підживлення винесення зерном становило 9,1–15,9 кг/га, а стеблами – 14,8–62,1 кг/га. Отже, основна кількість магнію накопичувалася у вегетативній масі.

На контролі винесення магнію зерном становило 10,2–12,5 кг/га, а стеблами – 14,8–21,9 кг/га. За N_{80} відповідні значення зростали до 12,7–

14,5 і 40,1–47,9 кг/га, а за N_{160} – до 14,1–15,4 і 53,5–62,1 кг/га. Фосфорно–калійний фон забезпечував винесення 9,1–12,6 кг/га зерном і 18,4–26,1 кг/га стеблами. За $N_{80}P_{30}K_{55}$ стебла виносили 37,8–45,6 кг/га, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – 54,7–58,4 кг/га.

Таблиця 5.30

Господарське винесення магнію врожаєм кукурудзи залежно від способів застосування добрив, кг/га

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень					
	2023	2024	2025	2023	2024	2025
	Зерно			Стебла		
Без позакореневого підживлення (чинник В)						
Без добрив (контроль)	11,7	10,2	12,5	17,0	14,8	21,9
N_{80}	14,5	12,7	13,5	41,7	40,1	47,9
N_{160}	14,9	14,1	15,4	53,5	62,1	59,1
$P_{60}K_{110}$	12,6	9,1	11,8	23,4	18,4	26,1
$N_{80}P_{30}K_{55}$	15,2	14,3	15,0	43,1	37,8	45,6
$N_{160}P_{60}K_{110}$	15,9	14,2	15,8	54,7	57,7	58,4
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га						
Без добрив (контроль)	12,0	9,5	12,8	25,1	21,8	27,8
N_{80}	14,8	13,0	14,3	51,2	43,4	52,0
N_{160}	16,6	15,1	16,9	60,5	70,8	64,0
$P_{60}K_{110}$	12,6	9,2	12,3	28,0	22,0	30,7
$N_{80}P_{30}K_{55}$	15,0	13,6	15,1	53,8	40,1	53,2
$N_{160}P_{60}K_{110}$	15,6	14,4	16,0	62,4	58,6	63,8
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га						
Без добрив (контроль)	12,2	12,0	13,2	25,7	20,9	28,7
N_{80}	15,1	15,1	14,9	53,2	47,8	54,8
N_{160}	15,6	15,9	17,1	62,2	72,6	68,5
$P_{60}K_{110}$	13,0	11,1	13,3	29,2	22,5	31,8
$N_{80}P_{30}K_{55}$	15,2	14,2	15,6	55,4	51,4	56,2
$N_{160}P_{60}K_{110}$	15,3	15,1	16,5	65,1	76,1	63,8

Одноразове застосування Брексіл™ Мікс переважно підвищувало винесення магнію обома складовими врожаю. Найвищі показники зерна становили 16,9 кг/га за N_{160} у 2025 р. і 16,0 кг/га за $N_{160}P_{60}K_{110}$. Винесення

стеблами досягало 70,8 кг/га за N_{160} у 2024 р. та 63,8 кг/га за повного NPK–удобрення у 2025 р.

Загальне господарське винесення магнію врожаєм кукурудзи змінювалося від 24,9 до 91,2 кг/га залежно від варіанта та року (табл. 5.31). Без позакореневого підживлення на контролі воно становило 24,9–34,3 кг/га, за N_{80} – 52,8–61,4, N_{160} – 68,4–76,3, $P_{60}K_{110}$ – 27,5–37,9, $N_{80}P_{30}K_{55}$ – 52,1–60,6, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – 70,6–74,2 кг/га.

Таблиця 5.31

Загальне господарське винесення магнію врожаєм кукурудзи залежно від способів застосування добрив, кг/га

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень		
	2023	2024	2025
Без позакореневого підживлення (чинник В)			
Без добрив (контроль)	28,6	24,9	34,3
N_{80}	56,2	52,8	61,4
N_{160}	68,4	76,3	74,5
$P_{60}K_{110}$	36,0	27,5	37,9
$N_{80}P_{30}K_{55}$	58,3	52,1	60,6
$N_{160}P_{60}K_{110}$	70,6	71,9	74,2
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	37,1	31,4	40,6
N_{80}	66,0	56,4	66,3
N_{160}	77,1	85,9	80,9
$P_{60}K_{110}$	40,6	31,2	43,0
$N_{80}P_{30}K_{55}$	68,9	53,7	68,3
$N_{160}P_{60}K_{110}$	78,0	73,0	79,9
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	37,9	32,8	42,0
N_{80}	68,3	63,0	69,7
N_{160}	77,9	88,5	85,6
$P_{60}K_{110}$	42,2	33,7	45,1
$N_{80}P_{30}K_{55}$	70,5	65,6	71,8
$N_{160}P_{60}K_{110}$	80,4	91,2	80,3

За середніми трирічними значеннями без підживлення загальне винесення становило 29,3 кг/га на контролі, 56,8 – за N_{80}, 73,1 – за N_{160}, 33,8 – за $P_{60}K_{110}$, 57,0 – за $N_{80}P_{30}K_{55}$ і 72,2 кг/га за $N_{160}P_{60}K_{110}$. Порівняно з

контролем показник збільшувався на 94 % за N_{80}, у 2,5 рази за N_{160}, на 15 % за $P_{60}K_{110}$, на 95 % за $N_{80}P_{30}K_{55}$ і у 2,5 рази за повного NPK–удобрення.

Близькі значення на фонах N_{80} і $N_{80}P_{30}K_{55}$, а також N_{160} і $N_{160}P_{60}K_{110}$ свідчать, що загальне винесення магнію визначалося передусім рівнем азотного живлення й відповідним формуванням біомаси. Внесення $P_{60}K_{110}$ без азоту збільшувало винесення лише на 4,5 кг/га порівняно з контролем.

Одноразове застосування Брексіл™ Мікс збільшувало середнє за три роки загальне винесення магнію на 4,5–8,2 кг/га залежно від фону. Найбільший приріст одержано за N_{160} – із 73,1 до 81,3 кг/га, а також на контролі – із 29,3 до 36,4 кг/га. За дворазового застосування приріст становив 6,5–12,3 кг/га. Найбільше збільшення встановлено на фоні $N_{80}P_{30}K_{55}$ – із 57,0 до 69,3 кг/га, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – із 72,2 до 84,0 кг/га.

Максимальне загальне господарське винесення – 91,2 кг/га – сформувалося у 2024 р. за $N_{160}P_{60}K_{110}$ і дворазового застосування препарату. Високі значення також отримано за N_{160}: 85,9 кг/га за одноразового застосування у 2024 р. та 88,5 кг/га за дворазового. Отже, для загального винесення магнію, на відміну від його вмісту в зерні, простежувалася досить чітка перевага дворазового підживлення.

Відносне винесення магнію зерном без позакореневого підживлення було відносно стабільним і становило переважно 1,1–1,2 кг/т (табл. 5.32). Значно більша мінливість була характерною для стебел: на контролі показник становив 1,4–1,5 кг/т, за N_{80} – 2,6–2,9, N_{160} – 2,8–3,1, $P_{60}K_{110}$ – 1,7–1,8, $N_{80}P_{30}K_{55}$ – 2,4–2,5, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – 2,5–2,9 кг/т.

Таким чином, фони з азотною складовою істотно підвищували накопичення магнію в одиниці маси стебел. Фосфорно–калійне удобрення без азоту мало слабший вплив, хоча й забезпечувало дещо вищі значення порівняно з контролем.

Таблиця 5.32

Відносне винесення магнію врожаєм кукурудзи залежно від способів застосування добрив, кг/т

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень					
	2023	2024	2025	2023	2024	2025
	Зерно			Стебла		
Без позакореневого підживлення (чинник В)						
Без добрив (контроль)	1,1	1,2	1,1	1,4	1,4	1,5
N_{80}	1,1	1,1	1,1	2,6	2,7	2,9
N_{160}	1,1	1,1	1,1	2,9	2,8	3,1
$P_{60}K_{110}$	1,1	1,1	1,1	1,7	1,7	1,8
$N_{80}P_{30}K_{55}$	1,1	1,2	1,2	2,5	2,4	2,5
$N_{160}P_{60}K_{110}$	1,1	1,1	1,1	2,8	2,5	2,9
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га						
Без добрив (контроль)	1,1	1,1	1,2	2,0	2,0	1,9
N_{80}	1,1	1,1	1,2	3,1	2,9	3,1
N_{160}	1,2	1,2	1,2	3,2	3,2	3,3
$P_{60}K_{110}$	1,1	1,0	1,1	2,0	2,0	2,1
$N_{80}P_{30}K_{55}$	1,1	1,1	1,1	3,0	2,5	2,9
$N_{160}P_{60}K_{110}$	1,1	1,1	1,1	3,1	2,5	3,2
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га						
Без добрив (контроль)	1,2	1,4	1,2	2,0	1,9	1,9
N_{80}	1,1	1,3	1,2	3,2	3,2	3,3
N_{160}	1,1	1,2	1,2	3,3	3,2	3,5
$P_{60}K_{110}$	1,1	1,3	1,2	2,1	2,1	2,1
$N_{80}P_{30}K_{55}$	1,1	1,2	1,2	3,1	3,2	3,1
$N_{160}P_{60}K_{110}$	1,1	1,2	1,2	3,3	3,3	3,2

Одноразове застосування Брексіл™ Мікс майже не змінювало відносне винесення магнію зерном, яке становило 1,0–1,2 кг/т, але помітно підвищувало цей показник у стеблах – до 1,9–3,3 кг/т. Найвищі значення зафіксовано за N_{160} – 3,2–3,3 кг/т та $N_{160}P_{60}K_{110}$ – 2,5–3,2 кг/т.

За дворазового внесення відносне винесення магнію зерном становило

1,1–1,4 кг/т, а стеблами – 1,9–3,5 кг/т. Максимальний показник у стеблах отримано у 2025 р. за N_{160} – 3,5 кг/т. За N_{80} і $N_{160}P_{60}K_{110}$ він досягав 3,3 кг/т. Отже, позакореневе підживлення магнієвмісним препаратом найбільше впливало на накопичення магнію у вегетативній масі.

Сумарне відносне винесення магнію в розрахунку на 1 т зерна та відповідної кількості стебел залежало насамперед від фону мінерального живлення (табл. 5.33). Без позакореневого підживлення на контролі воно становило 2,7–3,1 кг/т, за N_{80} – 4,3–5,0, N_{160} – 5,0–6,0, $P_{60}K_{110}$ – 3,2–3,4, $N_{80}P_{30}K_{55}$ – 4,3–4,6, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – 5,1–5,6 кг/т.

Таблиця 5.33

Відносне винесення магнію врожаєм кукурудзи залежно від способів застосування добрив, кг/т зерна та відповідної кількості стебел

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень		
	2023	2024	2025
Без позакореневого підживлення (чинник В)			
Без добрив (контроль)	2,7	3,0	3,1
N_{80}	4,3	4,6	5,0
N_{160}	5,0	6,0	5,3
$P_{60}K_{110}$	3,2	3,2	3,4
$N_{80}P_{30}K_{55}$	4,3	4,3	4,6
$N_{160}P_{60}K_{110}$	5,1	5,6	5,2
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	3,5	3,7	3,7
N_{80}	5,0	4,8	5,4
N_{160}	5,5	6,7	5,7
$P_{60}K_{110}$	3,6	3,5	3,8
$N_{80}P_{30}K_{55}$	5,0	4,3	5,2
$N_{160}P_{60}K_{110}$	5,5	5,6	5,6
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	3,6	3,8	3,8
N_{80}	5,1	5,3	5,7
N_{160}	5,6	6,9	6,0
$P_{60}K_{110}$	3,7	3,8	4,0
$N_{80}P_{30}K_{55}$	5,1	5,3	5,4
$N_{160}P_{60}K_{110}$	5,7	7,0	5,6

У середньому за три роки найвище значення без підживлення

сформувалося за N_{160} – 5,43 кг/т, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ воно становило 5,30 кг/т. Найнижчий показник отримано на контролі – 2,93 кг/т. Це ще раз підтверджує визначальну роль азотного живлення у формуванні винесення магнію.

Одноразове застосування Брексіл™ Мікс підвищувало середнє сумарне відносне винесення на 0,27–0,70 кг/т залежно від фону. За дворазового застосування приріст становив 0,57–0,87 кг/т. Найбільшу реакцію на дворазове підживлення встановлено на фоні $N_{80}P_{30}K_{55}$, де середній показник зростав із 4,40 до 5,27 кг/т, а також на контролі та $N_{160}P_{60}K_{110}$ – відповідно на 0,80 кг/т.

Максимальне значення в таблиці – 7,0 кг/т – отримано у 2024 р. за повного мінерального удобрення і дворазового застосування Брексіл™ Мікс. За N_{160} воно становило 6,9 кг/т. Отже, дворазове підживлення переважно було ефективнішим за одноразове щодо сумарного відносного винесення магнію.

Частка магнію, зосередженого у стеблах, була вищою, ніж у зерні (табл. 5.34). Без позакореневого підживлення частка магнію в зерні становила 4–6 %, а у стеблах – 7–13 %. На контролі частка в зерні була стабільною – 6 %, а у стеблах – 9 %. За N_{80} вона становила 5–6 % у зерні та 12–13 % у стеблах. За N_{160} відповідні значення дорівнювали 5 і 10–11 %.

Фосфорно–калійний фон забезпечував порівняно високу частку магнію в зерні – 6 %, але нижчу в стеблах – 7–8 %. За $N_{80}P_{30}K_{55}$ вона становила 5–6 % у зерні й 9 % у стеблах, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – 4–5 та 8–9 % відповідно.

Одноразове позакореневе підживлення збільшувало частку магнію у стеблах на більшості фонів. Найвищі значення – 14 % – отримано за N_{80} у всі роки. На контролі частка становила 11–12 %, за N_{160} – 11–12 %, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – 8–10 %. У зерні зміни були значно меншими й переважно не перевищували одного відсоткового пункту.

Таблиця 5.34

Частка магнію в урожаї зерна та стебел кукурудзи залежно від способів застосування добрив, %

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень					
	2023	2024	2025	2023	2024	2025
	Зерно			Стебла		
Без позакореневого підживлення (чинник В)						
Без добрив (контроль)	6	6	6	9	9	9
N_{80}	5	5	6	12	13	13
N_{160}	5	5	5	10	11	11
$P_{60}K_{110}$	6	6	6	7	8	8
$N_{80}P_{30}K_{55}$	5	5	6	9	9	9
$N_{160}P_{60}K_{110}$	5	4	5	8	8	9
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га						
Без добрив (контроль)	6	6	7	12	12	11
N_{80}	5	5	6	14	14	14
N_{160}	5	5	6	11	12	11
$P_{60}K_{110}$	6	5	6	8	8	8
$N_{80}P_{30}K_{55}$	5	5	6	10	9	10
$N_{160}P_{60}K_{110}$	5	5	5	9	8	10
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га						
Без добрив (контроль)	6	7	7	12	12	11
N_{80}	5	6	6	14	15	15
N_{160}	5	5	6	11	12	12
$P_{60}K_{110}$	6	6	6	8	9	9
$N_{80}P_{30}K_{55}$	5	5	6	10	11	10
$N_{160}P_{60}K_{110}$	5	5	6	10	10	10

За дворазового застосування максимальна частка магнію у стеблах становила 15 % за N_{80} у 2024–2025 рр. На фонах N_{160}, $N_{80}P_{30}K_{55}$ і $N_{160}P_{60}K_{110}$ вона становила відповідно 11–12, 10–11 і 10 %. Отже, дія препарату полягала переважно у збільшенні накопичення магнію у стебловій масі.

Частка магнію в загальному господарському винесенні врожаєм

кукурудзи становила 6–11 % і залежала від системи удобрення та позакореневого підживлення (табл. 5.35). Без застосування Бреxсіл™ Мікс на контролі вона становила 7–8 %, за N_{80} – 9–10, N_{160} – 8–9, $P_{60}K_{110}$ – 6–7, $N_{80}P_{30}K_{55}$ – 7 %, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – 7–8 %.

Найвищу частку магнію без позакореневого підживлення отримано за N_{80}, а найнижчу – на фосфорно–калійному фоні. Це пояснюється інтенсивнішим накопиченням магнію у стеблах за азотного живлення та високою часткою калію в загальному винесенні на фоні $P_{60}K_{110}$.

Таблиця 5.35

Частка магнію в загальному господарському винесенні врожаєм кукурудзи залежно від способів застосування добрив, %

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень		
	2023	2024	2025
Без позакореневого підживлення (чинник В)			
Без добрив (контроль)	7	8	8
N_{80}	9	9	10
N_{160}	8	8	9
$P_{60}K_{110}$	6	7	7
$N_{80}P_{30}K_{55}$	7	7	7
$N_{160}P_{60}K_{110}$	7	7	8
Бреxсіл™ Мікс 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	9	9	9
N_{80}	10	9	11
N_{160}	9	9	9
$P_{60}K_{110}$	7	7	7
$N_{80}P_{30}K_{55}$	8	7	8
$N_{160}P_{60}K_{110}$	8	7	8
Бреxсіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	9	9	9
N_{80}	10	10	11
N_{160}	9	9	10
$P_{60}K_{110}$	7	7	7
$N_{80}P_{30}K_{55}$	8	9	8
$N_{160}P_{60}K_{110}$	8	8	8

Одноразове застосування Бреxсіл™ Мікс підвищувало частку магнію переважно на 1–2 відсоткові пункти. На контролі вона становила 9 %, за

N_{80} – 9–11, N_{160} – 9 %, $P_{60}K_{110}$ – 7 %, $N_{80}P_{30}K_{55}$ і $N_{160}P_{60}K_{110}$ – 7–8 %. За дворазового застосування показник досягав 10–11 % на фоні N_{80}, 9–10 % – за N_{160}, 8–9 % – за $N_{80}P_{30}K_{55}$ і 8 % – за повного NPK–удобрення.

Отже, позакореневе застосування Брексіл™ Мікс підвищувало роль магнію в структурі загального господарського винесення. Найвиразніший ефект отримано на азотних фонах, де формувалася значна стеблова маса й підвищувався вміст магнію у стеблах.

Результати досліджень показали, що магній переважно накопичувався у стеблах кукурудзи. Вміст цього елемента в зерні змінювався у відносно вузькому діапазоні й не мав прямої залежності від рівня основного удобрення. Натомість у стеблах його концентрація істотно зростала на азотних і комплексних фонах, що свідчить про взаємозв'язок магнієвого живлення з інтенсивністю росту вегетативної маси.

Основним чинником збільшення господарського винесення магнію був рівень азотного живлення. Близькі показники на фонах N_{80} і $N_{80}P_{30}K_{55}$, а також N_{160} і $N_{160}P_{60}K_{110}$ вказують, що формування біомаси та поглинання магнію значною мірою визначалися дозою азоту. Фосфорно–калійне удобрення без азоту мало слабший вплив на концентрацію і винесення магнію.

Позакореневе застосування Брексіл™ Мікс істотно підвищувало вміст магнію у стеблах, його господарське та відносне винесення. Дія препарату на вміст магнію в зерні була менш стабільною, однак за дворазового застосування позитивний ефект проявлявся на більшості фонів. На відміну від калію та фосфору, для магнію простежувалася виразніша перевага дворазового підживлення над одноразовим, особливо щодо його накопичення у стеблах і загального винесення врожаєм.

Максимальне загальне господарське винесення магнію – 91,2 кг/га – сформувалося за повного мінерального удобрення $N_{160}P_{60}K_{110}$ та дворазового застосування Брексіл™ Мікс. Максимальне сумарне відносне винесення – 7,0 кг/т зерна та відповідної кількості стебел – одержано в

цьому ж варіанті у 2024 р.

5.5 Сірка

Сірка належить до основних елементів мінерального живлення рослин і бере участь у синтезі сірковмісних амінокислот, білків, ферментів та інших фізіологічно активних сполук. Її метаболізм тісно пов'язаний з азотним живленням, оскільки ефективне використання поглинутого азоту залежить від забезпеченості рослин сіркою. Водночас у досліді сірчані добрива окремо не вносили, тому зміни вмісту та винесення цього елемента визначалися його ґрунтовими запасами, погодними умовами, інтенсивністю формування врожаю та взаємодією з іншими елементами мінерального живлення [77].

Вміст сірки у зерні кукурудзи істотно залежав від системи мінерального живлення, року проведення досліджень і способу позакореневого застосування Брексіл™ Мікс (табл. 5.36). Без позакореневого підживлення середній за три роки показник змінювався від 896 до 1270 мг/кг. На контролі він становив 930 мг/кг, за внесення N_{80} – 1165, N_{160} – 1161, $P_{60}K_{110}$ – 896, $N_{80}P_{30}K_{55}$ – 1159, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – 1270 мг/кг.

Найвищий уміст сірки сформувався за повного мінерального удобрення. Порівняно з контролем він був вищим на 340 мг/кг, або на 36,6 %. Застосування N_{80}, N_{160} і $N_{80}P_{30}K_{55}$ підвищувало показник відповідно на 25,3; 24,8 і 24,6 %. Водночас на фоні $P_{60}K_{110}$ уміст сірки був на 3,7 % нижчим, ніж на контролі. Отже, накопичення сірки у зерні значною мірою залежало від азотного живлення, що узгоджується з функціональним взаємозв'язком цих елементів у процесах білкового обміну.

У 2023 р. без позакореневого підживлення вміст сірки змінювався від 902 до 1296 мг/кг, у 2024 р. – від 892 до 1235, а у 2025 р. – від 893 до 1278 мг/кг. Максимальні значення в усі роки отримано за $N_{160}P_{60}K_{110}$. Найнижчі показники формувалися на фоні $P_{60}K_{110}$ або на контролі. Таким чином, загальна закономірність впливу системи основного удобрення була

відносно стабільною за роками.

Таблиця 5.36

Вміст сірки у зерні кукурудзи залежно від способів застосування добрив, мг/кг

Варіант досліду (чинник А)		Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
		2023	2024	2025	
Без позакореневого підживлення (чинник В)					
Без добрив (контроль)		951	936	903	930
N_{80}		1214	1195	1087	1165
N_{160}		1200	1120	1164	1161
$P_{60}K_{110}$		902	892	893	896
$N_{80}P_{30}K_{55}$		1178	1146	1152	1159
$N_{160}P_{60}K_{110}$		1296	1235	1278	1270
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)		879	757	934	857
N_{80}		1087	970	1154	1070
N_{160}		1195	1104	1189	1163
$P_{60}K_{110}$		845	870	899	871
$N_{80}P_{30}K_{55}$		1045	1018	1177	1080
$N_{160}P_{60}K_{110}$		1267	1211	1247	1242
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)		923	792	921	879
N_{80}		1100	1013	1123	1079
N_{160}		1224	1143	1202	1190
$P_{60}K_{110}$		967	1007	945	973
$N_{80}P_{30}K_{55}$		1134	1160	1177	1157
$N_{160}P_{60}K_{110}$		1267	1273	1287	1276
$НІР_{05}$	А	28	30	31	–
	В	25	27	29	–

Одноразове застосування Брексіл™ Мікс не забезпечувало загального підвищення вмісту сірки у зерні. Середній показник на контролі знижувався з 930 до 857 мг/кг, за N_{80} – із 1165 до 1070, $P_{60}K_{110}$ – із 896 до 871, $N_{80}P_{30}K_{55}$ – із 1159 до 1080, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – із 1270 до 1242 мг/кг. Лише на фоні N_{160} він залишався практично незмінним – 1163 порівняно з 1161 мг/кг без підживлення. Зниження концентрації сірки

могло бути пов’язане з її розподілом у більшій масі сформованого врожаю або з інтенсивнішим переміщенням елемента до вегетативних органів.

За дворазового застосування препарату реакція була іншою. На контролі й за N_{80} середній уміст сірки залишався нижчим, ніж без підживлення, і становив відповідно 879 та 1079 мг/кг. За N_{160} він зростав до 1190 мг/кг, на фоні $P_{60}K_{110}$ – до 973, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – до 1276 мг/кг. За $N_{80}P_{30}K_{55}$ середнє значення практично не змінювалося і становило 1157 мг/кг.

Найвиразніший ефект дворазового підживлення проявився на фоні $P_{60}K_{110}$, де середній уміст сірки підвищувався на 77 мг/кг. Водночас найбільше абсолютне значення – 1287 мг/кг – установлено у 2025 р. за $N_{160}P_{60}K_{110}$. З огляду на $НІР_{05}$ для чинника В, яка становила 25–29 мг/кг, значна частина встановлених змін була статистично істотною. Загалом дія позакореневого підживлення на вміст сірки у зерні залежала від фону, а стабільної переваги одноразового внесення не встановлено.

Вміст сірки у стеблах змінювався у значно ширшому діапазоні, ніж у зерні, й тісно залежав від наявності азотної складової в системі удобрення (табл. 5.37). Без позакореневого підживлення середній показник становив 212 мг/кг на контролі, 579 – за N_{80}, 885 – за N_{160}, 478 – за $P_{60}K_{110}$, 707 – за $N_{80}P_{30}K_{55}$ і 889 мг/кг за $N_{160}P_{60}K_{110}$.

Порівняно з контролем уміст сірки у стеблах зростав у 2,7 рази за N_{80}, у 4,2 рази за N_{160}, у 2,3 рази за $P_{60}K_{110}$, у 3,3 рази за $N_{80}P_{30}K_{55}$ і у 4,2 рази за повного NPK–удобрення. Найближчі значення встановлено за N_{160} та $N_{160}P_{60}K_{110}$ – відповідно 885 і 889 мг/кг. Це свідчить, що накопичення сірки у стеблах значною мірою визначалося дозою азоту, тоді як додавання фосфору й калію не забезпечувало істотного подальшого збільшення показника.

Одноразове застосування Брексіл™ Мікс підвищувало середній уміст сірки у стеблах на контролі з 212 до 239 мг/кг, за N_{80} – із 579 до 617, N_{160} –

із 885 до 894, $P_{60}K_{110}$ – із 478 до 508, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – із 889 до 908 мг/кг. На фоні $N_{80}P_{30}K_{55}$ показник, навпаки, знижувався із 707 до 671 мг/кг. Отже, дія одноразового підживлення була переважно позитивною, але залежала від основного фону живлення.

Таблиця 5.37

Вміст сірки у стеблах кукурудзи залежно від способів застосування добрив, мг/кг

Варіант досліду (чинник А)		Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
		2023	2024	2025	
Без позакореневого підживлення (чинник В)					
Без добрив (контроль)		225	209	201	212
N_{80}		621	528	589	579
N_{160}		887	923	846	885
$P_{60}K_{110}$		425	511	497	478
$N_{80}P_{30}K_{55}$		713	698	711	707
$N_{160}P_{60}K_{110}$		891	809	966	889
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)		231	276	211	239
N_{80}		645	588	617	617
N_{160}		876	895	912	894
$P_{60}K_{110}$		412	588	523	508
$N_{80}P_{30}K_{55}$		678	691	645	671
$N_{160}P_{60}K_{110}$		921	849	955	908
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)		254	279	243	259
N_{80}		687	597	634	639
N_{160}		893	898	944	912
$P_{60}K_{110}$		451	538	511	500
$N_{80}P_{30}K_{55}$		711	652	669	677
$N_{160}P_{60}K_{110}$		912	892	978	927
$НІР_{05}$	А	12	10	13	–
	В	10	9	11	–

Дворазове застосування препарату забезпечувало середній уміст сірки 259 мг/кг на контролі, 639 – за N_{80}, 912 – за N_{160}, 500 – за $P_{60}K_{110}$, 677 – за $N_{80}P_{30}K_{55}$ і 927 мг/кг за $N_{160}P_{60}K_{110}$. Порівняно з варіантами без

підживлення приріст становив 22–60 мг/кг на більшості фонів. Винятком був $N_{80}P_{30}K_{55}$, де середній уміст сірки залишався на 30 мг/кг нижчим.

Найвищий уміст сірки у стеблах – 978 мг/кг – одержано у 2025 р. за повного мінерального удобрення та дворазового застосування препарату. За N_{160} максимальне значення становило 944 мг/кг. Оскільки $НІР_{05}$ для чинника В дорівнювала 9–11 мг/кг, більшість установлених змін перевищувала межу статистичної похибки. Отже, позакореневе підживлення більш стабільно впливало на накопичення сірки у стеблах, ніж у зерні.

Господарське винесення сірки залежало від її концентрації та величини врожаю зерна і стебел (табл. 5.38). Без позакореневого підживлення винесення зерном змінювалося від 7,8 до 18,1 кг/га, а стеблами – від 2,2 до 20,2 кг/га. На контролі зерно виносило 7,9–10,0 кг/га сірки, а стебла – 2,2–2,9 кг/га. За внесення N_{80} відповідні значення становили 13,2–16,0 і 7,7–10,1 кг/га, а за N_{160} – 14,1–16,5 та 16,1–20,2 кг/га.

Фосфорно–калійне удобрення без азоту забезпечувало винесення 7,8–10,2 кг/га зерном і 5,4–7,2 кг/га стеблами. На фоні $N_{80}P_{30}K_{55}$ показники зростали відповідно до 13,9–16,0 і 10,9–12,9 кг/га. Найвище винесення зерном без позакореневого підживлення отримано за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – 15,7–18,1 кг/га, а стеблами – за N_{160} і $N_{160}P_{60}K_{110}$: відповідно 16,1–20,2 і 17,6–19,2 кг/га.

Отже, на контролі, за N_{80} і $P_{60}K_{110}$ основна частина сірки виносилася зерном. За N_{160} і $N_{160}P_{60}K_{110}$ винесення стеблами наближалося до винесення зерном або перевищувало його. Це було пов’язано зі значним підвищенням концентрації сірки та маси стебел за високого рівня азотного живлення.

Одноразове застосування Брексіл™ Мікс мало різноспрямований вплив на винесення сірки зерном. У середньому за роки показник дещо знижувався на контролі, за N_{80}, $N_{80}P_{30}K_{55}$ і $N_{160}P_{60}K_{110}$, але зростав за N_{160} і $P_{60}K_{110}$. Водночас винесення стеблами переважно збільшувалося, особливо

на контролі, за $P_{60}K_{110}$ та повного NPK–удобрення.

Таблиця 5.38

Господарське винесення сірки врожаєм кукурудзи залежно від способів застосування добрив, кг/га

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень					
	2023	2024	2025	2023	2024	2025
	Зерно			Стебла		
Без позакореневого підживлення (чинник В)						
Без добрив (контроль)	10,0	7,9	10,0	2,8	2,2	2,9
N_{80}	16,0	13,8	13,2	10,1	7,7	9,7
N_{160}	16,5	14,1	16,3	16,4	20,2	16,1
$P_{60}K_{110}$	10,2	7,8	9,9	5,8	5,4	7,2
$N_{80}P_{30}K_{55}$	16,0	13,9	15,1	12,5	10,9	12,9
$N_{160}P_{60}K_{110}$	18,1	15,7	18,1	17,6	18,4	19,2
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га						
Без добрив (контроль)	9,3	6,5	10,4	2,9	3,0	3,1
N_{80}	14,5	11,5	14,2	10,7	8,8	10,3
N_{160}	16,7	14,3	16,9	16,4	19,9	17,6
$P_{60}K_{110}$	9,6	7,7	10,1	5,7	6,5	7,7
$N_{80}P_{30}K_{55}$	14,4	12,6	15,6	12,2	11,1	11,8
$N_{160}P_{60}K_{110}$	17,9	15,8	17,9	18,5	19,8	19,3
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га						
Без добрив (контроль)	9,8	6,8	10,2	3,2	3,0	3,6
N_{80}	14,7	12,0	13,8	11,4	9,0	10,6
N_{160}	17,1	14,8	17,1	16,7	20,1	18,6
$P_{60}K_{110}$	11,0	9,0	10,6	6,3	5,9	7,6
$N_{80}P_{30}K_{55}$	15,6	14,4	15,6	12,6	10,5	12,3
$N_{160}P_{60}K_{110}$	17,9	16,6	18,4	18,1	20,6	19,6

Дворазове підживлення забезпечувало більш виразне збільшення винесення сірки на фонах N_{160}, $P_{60}K_{110}$ та $N_{160}P_{60}K_{110}$. Максимальне винесення зерном становило 18,4 кг/га у 2025 р. за $N_{160}P_{60}K_{110}$ а стеблами – 20,6 кг/га у 2024 р. на цьому ж фоні. За N_{160} найбільше винесення стеблами становило 20,1 кг/га.

Загальне господарське винесення сірки врожаєм кукурудзи змінювалося від 9,5 до 38,0 кг/га залежно від системи удобрення, року та позакореневого підживлення (табл. 5.39). Без застосування Брексіл™ Мікс на контролі воно становило 10,1–12,9 кг/га, за N_{80} – 21,6–26,1, N_{160} – 32,5–34,3, $P_{60}K_{110}$ – 13,2–17,1, $N_{80}P_{30}K_{55}$ – 24,8–28,5, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – 34,1–37,2 кг/га.

Таблиця 5.39

Загальне господарське винесення сірки врожаєм кукурудзи залежно від способів застосування добрив, кг/га

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень		
	2023	2024	2025
Без позакореневого підживлення (чинник В)			
Без добрив (контроль)	12,8	10,1	12,9
N_{80}	26,1	21,6	22,9
N_{160}	32,9	34,3	32,5
$P_{60}K_{110}$	16,0	13,2	17,1
$N_{80}P_{30}K_{55}$	28,5	24,8	28,0
$N_{160}P_{60}K_{110}$	35,6	34,1	37,2
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	12,2	9,5	13,5
N_{80}	25,2	20,3	24,5
N_{160}	33,1	34,2	34,5
$P_{60}K_{110}$	15,3	14,2	17,8
$N_{80}P_{30}K_{55}$	26,6	23,7	27,4
$N_{160}P_{60}K_{110}$	36,5	35,6	37,2
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	13,0	9,8	13,9
N_{80}	26,1	21,0	24,5
N_{160}	33,8	34,9	35,7
$P_{60}K_{110}$	17,3	14,8	18,2
$N_{80}P_{30}K_{55}$	28,3	24,9	27,9
$N_{160}P_{60}K_{110}$	36,0	37,2	38,0

У середньому за три роки без позакореневого підживлення загальне винесення становило 11,9 кг/га на контролі, 23,5 – за N_{80}, 33,2 – за N_{160}, 15,4 – за $P_{60}K_{110}$, 27,1 – за $N_{80}P_{30}K_{55}$ і 35,6 кг/га за $N_{160}P_{60}K_{110}$. Порівняно з контролем показник збільшувався у 2,0 рази за N_{80}, у 2,8 рази за N_{160}, на

29 % за $P_{60}K_{110}$, у 2,3 рази за $N_{80}P_{30}K_{55}$ та у 3,0 рази за повного NPK–удобрення.

Таким чином, основним чинником збільшення загального винесення сірки було азотне живлення. Близькі значення на фонах N_{80} і $N_{80}P_{30}K_{55}$, а також N_{160} і $N_{160}P_{60}K_{110}$ підтверджують тісний зв'язок між поглинанням азоту й сірки.

Одноразове застосування Брексіл™ Мікс не забезпечувало сталого збільшення загального винесення. У середньому за роки показник знижувався на 0,2 кг/га на контролі й за N_{80}, на 1,2 кг/га за $N_{80}P_{30}K_{55}$, але зростав на 0,3 кг/га за $P_{60}K_{110}$, на 0,7 – за N_{160} і на 0,8 кг/га за $N_{160}P_{60}K_{110}$. Позакореневе застосування Брексіл™ Мікс могло опосередковано впливати на накопичення та винесення сірки через зміни фізіологічного стану рослин, формування біомаси та перерозподіл елемента між зерном і стеблами.

За дворазового застосування реакція була переважно позитивною. Середнє винесення збільшувалося на 0,3 кг/га на контролі, 0,3 – за N_{80}, 1,6 – за N_{160}, 1,3 – за $P_{60}K_{110}$ та 1,4 кг/га за $N_{160}P_{60}K_{110}$. На фоні $N_{80}P_{30}K_{55}$ показник практично не змінювався. Максимальне загальне господарське винесення – 38,0 кг/га – сформувалося у 2025 р. за повного мінерального удобрення і дворазового позакореневого підживлення.

Відносне винесення сірки зерном без позакореневого підживлення становило 0,9–1,3 кг/т, а стеблами – 0,2–1,0 кг/т (табл. 5.40). На контролі зерно містило 0,9–1,0 кг/т сірки, а стебла – 0,2 кг/т. За N_{80} відповідні значення становили 1,1–1,2 і 0,5–0,6 кг/т, за N_{160} – 1,1–1,2 і 0,8–0,9, а за $P_{60}K_{110}$ – 0,9 і 0,4–0,5 кг/т.

На фоні $N_{80}P_{30}K_{55}$ відносне винесення сірки зерном становило 1,1–1,2 кг/т, а стеблами – 0,7 кг/т. Найвищі значення отримано за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – 1,2–1,3 кг/т зерном і 0,8–1,0 кг/т стеблами. Отже, збільшення дози азоту посилювало накопичення сірки не лише в урожаї загалом, а й в одиниці маси стебел.

Одноразове застосування Брексіл™ Мікс переважно не підвищувало відносного винесення сірки зерном. На контролі та за N_{80} показник навіть дещо знижувався, що відповідало зменшенню вмісту сірки в зерні. Для стебел зміни були переважно позитивними або нейтральними: на контролі показник становив 0,2–0,3 кг/т, за N_{80} – 0,6, N_{160} – 0,9, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – 0,8–1,0 кг/т.

Таблиця 5.40

Відносне винесення сірки врожаєм кукурудзи залежно від способів застосування добрив, кг/т

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень					
	2023	2024	2025	2023	2024	2025
	Зерно			Стебла		
Без позакореневого підживлення (чинник В)						
Без добрив (контроль)	1,0	0,9	0,9	0,2	0,2	0,2
N_{80}	1,2	1,2	1,1	0,6	0,5	0,6
N_{160}	1,2	1,1	1,2	0,9	0,9	0,8
$P_{60}K_{110}$	0,9	0,9	0,9	0,4	0,5	0,5
$N_{80}P_{30}K_{55}$	1,2	1,1	1,2	0,7	0,7	0,7
$N_{160}P_{60}K_{110}$	1,3	1,2	1,3	0,9	0,8	1,0
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га						
Без добрив (контроль)	0,9	0,8	0,9	0,2	0,3	0,2
N_{80}	1,1	1,0	1,2	0,6	0,6	0,6
N_{160}	1,2	1,1	1,2	0,9	0,9	0,9
$P_{60}K_{110}$	0,8	0,9	0,9	0,4	0,6	0,5
$N_{80}P_{30}K_{55}$	1,0	1,0	1,2	0,7	0,7	0,6
$N_{160}P_{60}K_{110}$	1,3	1,2	1,2	0,9	0,8	1,0
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га						
Без добрив (контроль)	0,9	0,8	0,9	0,3	0,3	0,2
N_{80}	1,1	1,0	1,1	0,7	0,6	0,6
N_{160}	1,2	1,1	1,2	0,9	0,9	0,9
$P_{60}K_{110}$	1,0	1,0	0,9	0,5	0,5	0,5
$N_{80}P_{30}K_{55}$	1,1	1,2	1,2	0,7	0,7	0,7
$N_{160}P_{60}K_{110}$	1,3	1,3	1,3	0,9	0,9	1,0

За дворазового застосування максимальне відносне винесення сірки

зерном становило 1,3 кг/т на фоні $N_{160}P_{60}K_{110}$ у всі роки, а стеблами – 1,0 кг/т у 2025 р. На фоні N_{160} показник для стебел був стабільним – 0,9 кг/т. Отже, позакореневе підживлення мало порівняно слабкий вплив на відносне винесення сірки, а основні відмінності визначалися фоном мінерального живлення.

Сумарне відносне винесення сірки в розрахунку на 1 т зерна та відповідної кількості стебел без позакореневого підживлення змінювалося від 1,2 до 2,7 кг/т (табл. 5.41). На контролі показник був стабільним і становив 1,2 кг/т, за N_{80} – 1,9–2,0, N_{160} – 2,3–2,7, $P_{60}K_{110}$ – 1,4–1,5, $N_{80}P_{30}K_{55}$ – 2,0–2,1, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – 2,6–2,7 кг/т.

Таблиця 5.41

Відносне винесення сірки врожаєм кукурудзи залежно від способів застосування добрив, кг/т зерна та відповідної кількості стебел

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень		
	2023	2024	2025
Без позакореневого підживлення (чинник В)			
Без добрив (контроль)	1,2	1,2	1,2
N_{80}	2,0	1,9	1,9
N_{160}	2,4	2,7	2,3
$P_{60}K_{110}$	1,4	1,5	1,5
$N_{80}P_{30}K_{55}$	2,1	2,0	2,1
$N_{160}P_{60}K_{110}$	2,6	2,7	2,6
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	1,2	1,1	1,2
N_{80}	1,9	1,7	2,0
N_{160}	2,4	2,6	2,4
$P_{60}K_{110}$	1,4	1,6	1,6
$N_{80}P_{30}K_{55}$	1,9	1,9	2,1
$N_{160}P_{60}K_{110}$	2,6	2,7	2,6
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	1,2	1,1	1,2
N_{80}	2,0	1,8	2,0
N_{160}	2,4	2,7	2,5
$P_{60}K_{110}$	1,5	1,7	1,6
$N_{80}P_{30}K_{55}$	2,1	2,0	2,1
$N_{160}P_{60}K_{110}$	2,5	2,9	2,7

У середньому за три роки показник становив 1,20 кг/т на контролі, 1,93 – за N_{80}, 2,47 – за N_{160}, 1,47 – за $P_{60}K_{110}$, 2,07 – за $N_{80}P_{30}K_{55}$ і 2,63 кг/т за $N_{160}P_{60}K_{110}$. Отже, найвище сумарне відносне винесення формувалося за високої дози азоту окремо або у складі повного мінерального удобрення.

Одноразове застосування Брексіл™ Мікс майже не змінювало середнє сумарне відносне винесення за N_{160} і $N_{160}P_{60}K_{110}$, де воно становило відповідно 2,47 і 2,63 кг/т. На контролі, за N_{80} і $N_{80}P_{30}K_{55}$ показник незначно знижувався, а на фоні $P_{60}K_{110}$ зростав до 1,53 кг/т.

За дворазового підживлення показник зростав до 2,53 кг/т за N_{160}, 1,60 – за $P_{60}K_{110}$ і 2,70 кг/т за $N_{160}P_{60}K_{110}$. Максимальне значення – 2,9 кг/т – встановлено у 2024 р. за повного мінерального удобрення. Однак загалом дія позакореневого підживлення була значно слабшою, ніж вплив основного фону живлення.

Частка сірки в зерні була вищою, ніж у стеблах, і становила відповідно 4,1–6,3 та 1,2–3,4 % (табл. 5.42). Без позакореневого підживлення на контролі частка сірки в зерні становила 4,9–5,2 %, а у стеблах – 1,2–1,4 %. За N_{80} відповідні значення дорівнювали 5,4–5,8 і 2,5–3,0 %, за N_{160} – 4,9–5,7 і 3,0–3,4 %.

На фоні $P_{60}K_{110}$ частка сірки в зерні становила 4,6–5,1 %, а у стеблах – 1,8–2,2 %. За $N_{80}P_{30}K_{55}$ показники дорівнювали 5,0–5,8 і 2,4–2,5 %, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – 5,0–6,3 і 2,7–3,0 %. Отже, азотне живлення збільшувало частку сірки у стеблах, що відповідало підвищенню її концентрації у вегетативній масі.

Одноразове застосування Брексіл™ Мікс переважно знижувало частку сірки в зерні у 2023–2024 рр., особливо на контролі, за N_{80} і $N_{80}P_{30}K_{55}$. У 2025 р. різниці були меншими, а за N_{80} показник зростав до 6,0 %. Частка сірки у стеблах змінювалася незначно та залежала від фону.

За дворазового застосування найбільша частка сірки в зерні – 6,3 % – формувалася у 2025 р. за $N_{160}P_{60}K_{110}$. У стеблах максимальне значення становило 3,3 % за N_{160} у 2024–2025 рр. Загалом позакореневе підживлення

не забезпечувало сталої зміни розподілу сірки між органами рослин.

Таблиця 5.42

Частка сірки в урожаї зерна та стебел кукурудзи залежно від способів застосування добрив, %

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень					
	2023	2024	2025	2023	2024	2025
	Зерно			Стебла		
Без позакореневого підживлення (чинник В)						
Без добрив (контроль)	4,9	5,0	5,2	1,4	1,4	1,2
N_{80}	5,4	5,4	5,8	3,0	2,5	2,7
N_{160}	5,3	4,9	5,7	3,1	3,4	3,0
$P_{60}K_{110}$	4,6	5,0	5,1	1,8	2,2	2,1
$N_{80}P_{30}K_{55}$	5,2	5,0	5,8	2,5	2,5	2,4
$N_{160}P_{60}K_{110}$	5,7	5,0	6,3	2,7	2,7	3,0
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га						
Без добрив (контроль)	4,4	4,1	5,3	1,4	1,7	1,2
N_{80}	4,8	4,3	6,0	3,0	2,8	2,8
N_{160}	5,1	4,8	5,8	3,0	3,2	3,1
$P_{60}K_{110}$	4,2	4,6	4,9	1,7	2,5	2,1
$N_{80}P_{30}K_{55}$	4,6	4,6	5,8	2,3	2,4	2,1
$N_{160}P_{60}K_{110}$	5,5	5,0	6,1	2,7	2,8	3,0
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га						
Без добрив (контроль)	4,6	4,1	5,1	1,5	1,7	1,4
N_{80}	4,8	4,6	5,7	3,1	2,7	2,8
N_{160}	5,2	5,0	5,9	3,0	3,3	3,3
$P_{60}K_{110}$	4,7	5,1	5,0	1,7	2,3	2,1
$N_{80}P_{30}K_{55}$	4,9	5,1	5,8	2,4	2,3	2,2
$N_{160}P_{60}K_{110}$	5,4	5,2	6,3	2,7	2,8	3,0

Частка сірки в загальному господарському винесенні врожаєм кукурудзи була відносно невисокою і становила 2,6–4,1 % (табл. 5.43). Без позакореневого підживлення на контролі вона дорівнювала 2,9–3,1 %, за N_{80} – 3,8–4,0, N_{160} – 3,8 %, $P_{60}K_{110}$ – 2,8–3,2, $N_{80}P_{30}K_{55}$ – 3,4 %, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – 3,3–3,9 %.

Найвищі значення переважно формувалися на азотних фонах, а найнижчі – за $P_{60}K_{110}$ і на контролі. Це підтверджує, що підвищення рівня азотного живлення збільшувало роль сірки у формуванні врожаю та її частку в сумарному винесенні елементів живлення.

Таблиця 5.43

Частка сірки в загальному господарському винесенні врожаєм кукурудзи залежно від способів застосування добрив, %

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень		
	2023	2024	2025
Без позакореневого підживлення (чинник В)			
Без добрив (контроль)	3,1	3,1	2,9
N_{80}	4,0	3,8	3,8
N_{160}	3,8	3,8	3,8
$P_{60}K_{110}$	2,8	3,2	3,0
$N_{80}P_{30}K_{55}$	3,4	3,4	3,4
$N_{160}P_{60}K_{110}$	3,6	3,3	3,9
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	2,9	2,7	2,9
N_{80}	3,7	3,4	3,9
N_{160}	3,7	3,6	3,9
$P_{60}K_{110}$	2,6	3,2	3,0
$N_{80}P_{30}K_{55}$	3,0	3,1	3,2
$N_{160}P_{60}K_{110}$	3,5	3,3	3,8
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	2,9	2,8	3,0
N_{80}	3,7	3,5	3,9
N_{160}	3,8	3,7	4,1
$P_{60}K_{110}$	2,8	3,3	3,0
$N_{80}P_{30}K_{55}$	3,3	3,3	3,3
$N_{160}P_{60}K_{110}$	3,5	3,4	3,9

Одноразове застосування Брексіл™ Мікс переважно знижувало або не змінювало частку сірки. У середньому за роки вона зменшувалася з 3,03 до 2,83 % на контролі, з 3,87 до 3,67 % за N_{80}, з 3,40 до 3,10 % за $N_{80}P_{30}K_{55}$ і з 3,60 до 3,53 % за $N_{160}P_{60}K_{110}$. На інших фонах зміни були мінімальними.

За дворазового застосування частка сірки становила 2,8–3,0 % на контролі, 3,5–3,9 – за N_{80}, 3,7–4,1 – за N_{160}, 2,8–3,3 – за $P_{60}K_{110}$, 3,3 % – за

$N_{80}P_{30}K_{55}$ і 3,4–3,9 % за $N_{160}P_{60}K_{110}$. Максимальне значення – 4,1 % – установлено у 2025 р. за N_{160}. Отже, дворазове підживлення підтримувало або дещо підвищувало частку сірки переважно на фонах із високим рівнем азотного живлення.

Результати досліджень показали тісний взаємозв'язок між азотним і сірчаним живленням кукурудзи. Внесення азотних добрив підвищувало вміст сірки в зерні та особливо у стеблах, а також збільшувало її господарське й відносне винесення. Найвищі значення переважно формувалися за N_{160} і $N_{160}P_{60}K_{110}$, тоді як фосфорно–калійне удобрення без азоту мало значно слабший вплив.

У зерні накопичувалася більша концентрація сірки, але за високого рівня азотного живлення її винесення стеблами наближалося до винесення зерном або перевищувало його. Це свідчить про істотне залучення сірки до формування вегетативної маси за інтенсивного росту рослин.

Позакореневе застосування Брексіл™ Мікс мало неоднаковий вплив на показники сірчаного живлення. Одноразове внесення часто знижувало концентрацію сірки у зерні та не забезпечувало сталого збільшення її загального господарського винесення. Дворазове застосування було результативнішим на фонах N_{160}, $P_{60}K_{110}$ і $N_{160}P_{60}K_{110}$, однак його ефект залишався меншим порівняно з впливом системи основного удобрення. Виявлені зміни можуть свідчити про опосередкований вплив Брексіл™ Мікс на накопичення та винесення сірки через зміну фізіологічного стану рослин, формування біомаси та перерозподіл елемента між зерном і стеблами.

Максимальний уміст сірки у зерні – 1296 мг/кг – отримано у 2023 р. за $N_{160}P_{60}K_{110}$ без позакореневого підживлення, а у стеблах – 978 мг/кг у 2025 р. за цього самого фону та дворазового застосування Брексіл™ Мікс. Максимальне загальне господарське винесення сірки – 38,0 кг/га – сформувалося у 2025 р. за $N_{160}P_{60}K_{110}$ і дворазового підживлення. Загалом рівень сірчаного живлення кукурудзи визначався передусім азотною

складовою системи удобрення, а позакореневе підживлення мало коригувальну дію.

5.6 Цинк

Цинк є важливим мікроелементом у живленні кукурудзи, який бере участь в активації ферментів, синтезі білків і регулюванні ростових процесів. Він впливає на утворення ауксинів, фотосинтетичну активність, розвиток кореневої системи та формування генеративних органів. Кукурудза характеризується підвищеною чутливістю до нестачі цинку, а його доступність залежить від властивостей ґрунту, погодних умов і взаємодії з іншими елементами живлення. Особливе значення має співвідношення фосфору та цинку, оскільки інтенсивне фосфорне живлення за певних умов може обмежувати надходження цинку до рослин [77].

Вміст цинку в зерні кукурудзи істотно залежав від фону мінерального живлення, року досліджень та способу позакореневого застосування Брексіл™ Мікс (табл. 5.44). Без позакореневого підживлення середній за три роки показник знижувався з 11,9 мг/кг на контролі до 10,1–11,4 мг/кг на удобрених фонах. За N_{80} він становив 10,9 мг/кг, N_{160} – 11,4, $P_{60}K_{110}$ – 10,1, $N_{80}P_{30}K_{55}$ – 11,0, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – 10,7 мг/кг. Порівняно з контролем зниження становило від 4,2 % за N_{160} до 15,1 % за $P_{60}K_{110}$.

Найнижчий середній уміст цинку сформувався за фосфорно-калійного удобрення. Низький уміст цинку на фоні $P_{60}K_{110}$ може бути пов’язаний з антагоністичною взаємодією фосфору й цинку, однак для підтвердження цього механізму необхідні дані про вміст доступних форм цих елементів у ґрунті та особливості їх накопичення в рослинах упродовж вегетації. Водночас за N_{160} показник був лише на 0,5 мг/кг нижчим, ніж на контролі. Отже, азотне живлення без внесення фосфору меншою мірою знижувало концентрацію цинку в зерні.

Таблиця 5.44

Вміст цинку в зерні кукурудзи залежно від способів застосування добрив, мг/кг

Варіант досліду (чинник А)		Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
		2023	2024	2025	
Без позакореневого підживлення (чинник В)					
Без добрив (контроль)		11,0	13,6	11,2	11,9
N_{80}		10,3	12,2	10,2	10,9
N_{160}		10,4	13,1	10,6	11,4
$P_{60}K_{110}$		9,9	10,7	9,8	10,1
$N_{80}P_{30}K_{55}$		10,1	12,4	10,6	11,0
$N_{160}P_{60}K_{110}$		10,0	11,7	10,2	10,7
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)		12,1	14,2	12,7	13,0
N_{80}		12,6	16,6	13,4	14,2
N_{160}		13,2	13,2	12,4	12,9
$P_{60}K_{110}$		11,5	10,5	11,0	11,0
$N_{80}P_{30}K_{55}$		10,1	9,8	8,3	9,4
$N_{160}P_{60}K_{110}$		9,9	9,3	8,0	9,1
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)		12,6	13,4	13,0	13,0
N_{80}		13,7	18,0	13,8	15,2
N_{160}		14,0	12,7	13,2	13,3
$P_{60}K_{110}$		14,3	18,9	14,2	15,8
$N_{80}P_{30}K_{55}$		10,2	9,6	8,1	9,3
$N_{160}P_{60}K_{110}$		9,8	9,7	8,2	9,2
$НІР_{05}$	А	0,4	0,3	0,3	–
	В	0,3	0,3	0,3	–

Виразними були відмінності показника за роками досліджень. Без позакореневого підживлення найвищий уміст цинку в усіх варіантах отримано у 2024 р. – від 10,7 до 13,6 мг/кг. У 2023 р. він становив 9,9–11,0 мг/кг, а у 2025 р. – 9,8–11,2 мг/кг. На контролі показник змінювався від 11,0 до 13,6 мг/кг, а за повного NPK–удобрення – від 10,0 до 11,7 мг/кг. Отже, погодні умови 2024 р. сприяли вищому накопиченню

цинку в зерні, однак характер реакції залежав від системи живлення.

Одноразове застосування Брексіл™ Мікс підвищувало середній уміст цинку на контролі з 11,9 до 13,0 мг/кг, за N_{80} – із 10,9 до 14,2, N_{160} – з 11,4 до 12,9, а за $P_{60}K_{110}$ – із 10,1 до 11,0 мг/кг. Водночас за $N_{80}P_{30}K_{55}$ показник знижувався з 11,0 до 9,4 мг/кг, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – з 10,7 до 9,1 мг/кг. Отже, позитивний ефект одноразового підживлення проявився на контролі, азотних і фосфорно–калійному фонах, але був відсутнім за комплексного NPK–удобрення.

Дворазове застосування препарату забезпечувало ще вище накопичення цинку на контролі, за азотного та фосфорно–калійного удобрення. Середній показник становив 13,0 мг/кг на контролі, 15,2 – за N_{80}, 13,3 – за N_{160} і 15,8 мг/кг за $P_{60}K_{110}$. Порівняно з варіантами без підживлення приріст становив відповідно 1,1; 4,3; 1,9 і 5,7 мг/кг. Максимальний уміст цинку – 18,9 мг/кг – установлено у 2024 р. на фоні $P_{60}K_{110}$, а за N_{80} у цьому році він становив 18,0 мг/кг.

На фонах $N_{80}P_{30}K_{55}$ та $N_{160}P_{60}K_{110}$ дворазове застосування, навпаки, знижувало середній уміст цинку до 9,3 і 9,2 мг/кг відповідно. Особливо низькі значення отримано у 2025 р. – 8,1 і 8,2 мг/кг. Така реакція може бути зумовлена комплексною взаємодією елементів живлення та ефектом розбавлення внаслідок формування більшого врожаю. Водночас без додаткових фізіологічних і ґрунтових досліджень однозначно встановити механізм цих змін неможливо.

$НІР_{05}$ для чинника А становила 0,3–0,4 мг/кг, а для чинника В – 0,3 мг/кг. Тому більшість установлених відмінностей була статистично істотною. Загалом реакція вмісту цинку в зерні на Брексіл™ Мікс залежала від основного фону живлення: препарат підвищував показник на контролі, азотних і фосфорно–калійному фонах, але знижував його за комплексного NPK–удобрення.

Вміст цинку у стеблах був нижчим, ніж у зерні, і без позакореневого підживлення становив у середньому 2,6–5,3 мг/кг (табл. 5.45). На контролі

він дорівнював 4,6 мг/кг, за N_{80} – 4,8, N_{160} – 5,3, $P_{60}K_{110}$ – 2,6, $N_{80}P_{30}K_{55}$ – 5,0, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – 5,3 мг/кг.

Таблиця 5.45

Вміст цинку в стеблах кукурудзи залежно від способів застосування добрив, мг/кг

Варіант досліду (чинник А)		Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
		2023	2024	2025	
Без позакореневого підживлення (чинник В)					
Без добрив (контроль)		4,2	4,6	5,1	4,6
N_{80}		4,8	4,5	5,2	4,8
N_{160}		5,1	5,3	5,5	5,3
$P_{60}K_{110}$		2,5	2,3	2,9	2,6
$N_{80}P_{30}K_{55}$		5,0	4,9	5,0	5,0
$N_{160}P_{60}K_{110}$		5,3	5,6	5,1	5,3
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)		4,6	4,2	5,0	4,6
N_{80}		5,7	6,3	5,6	5,9
N_{160}		6,7	7,1	5,9	6,6
$P_{60}K_{110}$		2,9	2,4	3,0	2,8
$N_{80}P_{30}K_{55}$		5,1	5,2	4,9	5,1
$N_{160}P_{60}K_{110}$		5,5	6,2	5,2	5,6
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)		4,9	4,7	4,8	4,8
N_{80}		8,1	7,8	6,3	7,4
N_{160}		8,5	7,2	6,5	7,4
$P_{60}K_{110}$		2,3	3,0	2,7	2,7
$N_{80}P_{30}K_{55}$		7,1	5,9	5,6	6,2
$N_{160}P_{60}K_{110}$		6,8	6,1	5,3	6,1
$НІР_{05}$	А	0,1	0,1	0,1	–
	В	0,1	0,1	0,1	–

Фосфорно–калійна система знижувала середній уміст цинку у стеблах на 43,5 % порівняно з контролем. Натомість внесення N_{160} і $N_{160}P_{60}K_{110}$ збільшувало його на 15,2 %, а $N_{80}P_{30}K_{55}$ – на 8,7 %. Отже, у вегетативній масі також простежувалася негативна реакція на фосфорно–калійний фон без азоту.

Одноразове застосування Брексіл™ Мікс підвищувало середній уміст цинку у стеблах за N_{80} із 4,8 до 5,9 мг/кг, за N_{160} – із 5,3 до 6,6, $P_{60}K_{110}$ – із 2,6 до 2,8, $N_{80}P_{30}K_{55}$ – із 5,0 до 5,1, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – із 5,3 до 5,6 мг/кг. На контролі показник залишався на рівні 4,6 мг/кг. Найвиразніший приріст одержано на азотних фонах.

За дворазового застосування вміст цинку у стеблах зростав до 4,8 мг/кг на контролі, 7,4 – за N_{80}, 7,4 – за N_{160}, 2,7 – за $P_{60}K_{110}$, 6,2 – за $N_{80}P_{30}K_{55}$ і 6,1 мг/кг за $N_{160}P_{60}K_{110}$. Порівняно з варіантами без підживлення приріст становив від 0,1 мг/кг на фосфорно–калійному фоні до 2,6 мг/кг за N_{80}.

Найвищі значення отримано у 2023 р. за N_{160} – 8,5 мг/кг і N_{80} – 8,1 мг/кг за дворазового підживлення. На фоні $N_{80}P_{30}K_{55}$ показник становив 7,1 мг/кг. У 2025 р. ефект був слабшим, але за N_{80} і N_{160} вміст цинку залишався вищим, ніж без позакореневого підживлення. Оскільки $НІР_{05}$ для чинників А і В становила 0,1 мг/кг, більшість цих відмінностей була статистично істотною. Отже, на відміну від зерна, у стеблах дворазове застосування препарату підвищувало вміст цинку на більшості фонів. На комплексних фонах $N_{80}P_{30}K_{55}$ і $N_{160}P_{60}K_{110}$ позакореневе підживлення супроводжувалося протилежними змінами концентрації цинку в органах рослин: його вміст у зерні знижувався, тоді як у стеблах переважно зростав. Це може свідчити про менш інтенсивну реутилізацію цинку з вегетативних органів до зерна або про ефект розбавлення внаслідок формування більшої врожайності, однак для підтвердження такого механізму необхідні додаткові дослідження динаміки накопичення та перерозподілу елемента в рослинах.

Господарське винесення цинку зерном без позакореневого підживлення становило 0,09–0,17 кг/га, а стеблами – 0,02–0,13 кг/га (табл. 5.46). На контролі винесення цинку зерном становило 0,11–0,12 кг/га, а стеблами – 0,05–0,07 кг/га. За N_{80} відповідні значення становили 0,12–0,14 і 0,07–0,09 кг/га, за N_{160} – 0,14–0,17 і 0,09–0,12 кг/га.

На фоні $P_{60}K_{110}$ винесення цинку було найнижчим і становило 0,09–0,11 кг/га зерном та 0,02–0,04 кг/га стеблами. За $N_{80}P_{30}K_{55}$ показники дорівнювали 0,14–0,15 і 0,08–0,09 кг/га, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – 0,14–0,15 і 0,10–0,13 кг/га. Отже, без позакореневого підживлення найбільше винесення формувалося на фонах із високим рівнем азотного живлення.

Таблиця 5.46

Господарське винесення цинку врожаєм кукурудзи залежно від способів застосування добрив, кг/га

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень					
	2023	2024	2025	2023	2024	2025
	Зерно			Стебла		
Без позакореневого підживлення (чинник В)						
Без добрив (контроль)	0,12	0,11	0,12	0,05	0,05	0,07
N_{80}	0,14	0,14	0,12	0,08	0,07	0,09
N_{160}	0,14	0,17	0,15	0,09	0,12	0,10
$P_{60}K_{110}$	0,11	0,09	0,11	0,03	0,02	0,04
$N_{80}P_{30}K_{55}$	0,14	0,15	0,14	0,09	0,08	0,09
$N_{160}P_{60}K_{110}$	0,14	0,15	0,14	0,10	0,13	0,10
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га						
Без добрив (контроль)	0,13	0,12	0,14	0,06	0,05	0,07
N_{80}	0,17	0,20	0,16	0,09	0,09	0,09
N_{160}	0,18	0,17	0,18	0,13	0,16	0,11
$P_{60}K_{110}$	0,13	0,09	0,12	0,04	0,03	0,04
$N_{80}P_{30}K_{55}$	0,14	0,12	0,11	0,09	0,08	0,09
$N_{160}P_{60}K_{110}$	0,14	0,12	0,11	0,11	0,14	0,11
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га						
Без добрив (контроль)	0,13	0,12	0,14	0,06	0,05	0,07
N_{80}	0,18	0,21	0,17	0,13	0,12	0,11
N_{160}	0,20	0,16	0,19	0,16	0,16	0,13
$P_{60}K_{110}$	0,16	0,17	0,16	0,03	0,03	0,04
$N_{80}P_{30}K_{55}$	0,14	0,12	0,11	0,13	0,09	0,10
$N_{160}P_{60}K_{110}$	0,14	0,13	0,12	0,14	0,14	0,11

Одноразове застосування Брексіл™ Мікс збільшувало винесення цинку зерном і стеблами передусім на азотних фонах. За N_{80} винесення

зерном зростало до 0,16–0,20 кг/га, а за N_{160} – до 0,17–0,18 кг/га. Винесення стеблами становило відповідно 0,09 і 0,11–0,16 кг/га. На контролі та фоні $P_{60}K_{110}$ зміни були меншими.

На фонах $N_{80}P_{30}K_{55}$ і $N_{160}P_{60}K_{110}$ одноразове підживлення не збільшувало винесення цинку зерном. У 2024–2025 рр. воно навіть знижувалося внаслідок меншої концентрації елемента в зерні. Водночас винесення стеблами залишалося на рівні або дещо перевищувало варіанти без підживлення.

Дворазове застосування забезпечувало найвище винесення цинку на азотних фонах. За N_{80} зерно виносило 0,17–0,21 кг/га, а стебла – 0,11–0,13 кг/га. За N_{160} відповідні показники становили 0,16–0,20 і 0,13–0,16 кг/га. На фоні $P_{60}K_{110}$ винесення зерном зростало до 0,16–0,17 кг/га, однак стеблами залишалося низьким – 0,03–0,04 кг/га. Отже, дія дворазового підживлення найбільше проявлялася на азотних і фосфорно–калійному фонах, тоді як за комплексного NPK–живлення вона була слабкою.

Загальне господарське винесення цинку врожаєм кукурудзи змінювалося від 0,12 до 0,35 кг/га залежно від системи удобрення, року та способу позакореневого підживлення (табл. 5.47). Без застосування Брексіл™ Мікс на контролі воно становило 0,16–0,20 кг/га, за N_{80} – 0,21, N_{160} – 0,24–0,28, $P_{60}K_{110}$ – 0,12–0,15, $N_{80}P_{30}K_{55}$ – 0,23, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – 0,24–0,28 кг/га.

У середньому за три роки без позакореневого підживлення загальне винесення становило 0,177 кг/га на контролі, 0,210 – за N_{80}, 0,257 – за N_{160}, 0,140 – за $P_{60}K_{110}$, 0,230 – за $N_{80}P_{30}K_{55}$ і 0,257 кг/га за $N_{160}P_{60}K_{110}$. Порівняно з контролем показник зростав на 18,9 % за N_{80}, 45,3 % за N_{160}, 30,2 % за $N_{80}P_{30}K_{55}$ і 45,3 % за повного NPK–удобрення. За $P_{60}K_{110}$ він був на 20,8 % нижчим від контролю.

Одноразове застосування Брексіл™ Мікс збільшувало середнє загальне винесення на контролі до 0,193 кг/га, за N_{80} – до 0,270, N_{160} – до

0,310 і $P_{60}K_{110}$ – до 0,153 кг/га. Водночас за $N_{80}P_{30}K_{55}$ показник знижувався до 0,210, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – до 0,247 кг/га.

Таблиця 5.47

Загальне господарське винесення цинку врожаєм кукурудзи залежно від способів застосування добрив, кг/га

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень		
	2023	2024	2025
Без позакореневого підживлення (чинник В)			
Без добрив (контроль)	0,17	0,16	0,20
N_{80}	0,21	0,21	0,21
N_{160}	0,24	0,28	0,25
$P_{60}K_{110}$	0,15	0,12	0,15
$N_{80}P_{30}K_{55}$	0,23	0,23	0,23
$N_{160}P_{60}K_{110}$	0,24	0,28	0,25
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	0,19	0,17	0,22
N_{80}	0,26	0,29	0,26
N_{160}	0,31	0,33	0,29
$P_{60}K_{110}$	0,17	0,12	0,17
$N_{80}P_{30}K_{55}$	0,23	0,20	0,20
$N_{160}P_{60}K_{110}$	0,25	0,27	0,22
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	0,20	0,17	0,22
N_{80}	0,32	0,33	0,28
N_{160}	0,35	0,33	0,32
$P_{60}K_{110}$	0,19	0,20	0,20
$N_{80}P_{30}K_{55}$	0,27	0,21	0,21
$N_{160}P_{60}K_{110}$	0,27	0,27	0,22

За дворазового застосування загальне винесення становило 0,197 кг/га на контролі, 0,310 – за N_{80}, 0,333 – за N_{160}, 0,197 – за $P_{60}K_{110}$, 0,230 – за $N_{80}P_{30}K_{55}$ і 0,253 кг/га за $N_{160}P_{60}K_{110}$. Найбільший приріст порівняно з варіантами без підживлення отримано за N_{80} – 0,10 кг/га, за N_{160} – близько 0,08 і за $P_{60}K_{110}$ – близько 0,06 кг/га.

Максимальне загальне винесення цинку – 0,35 кг/га – сформувалося у 2023 р. за N_{160} та дворазового застосування Брексіл™ Мікс. У 2024 р. максимальне значення становило 0,33 кг/га за N_{80} і N_{160}, а у 2025 р. –

0,32 кг/га за N_{160}. Отже, найкращу реакцію на позакореневе підживлення забезпечували азотні фони.

Відносне винесення цинку зерном без позакореневого підживлення становило 0,010–0,014 кг/т, а стеблами – 0,002–0,006 кг/т (табл. 5.48). На контролі показник для зерна змінювався від 0,011 до 0,014 кг/т, за N_{80} – від 0,010 до 0,012, N_{160} – від 0,010 до 0,013, $P_{60}K_{110}$ – від 0,010 до 0,011 кг/т. За $N_{80}P_{30}K_{55}$ і $N_{160}P_{60}K_{110}$ він становив 0,010–0,012 кг/т.

Таблиця 5.48

Відносне винесення цинку врожаєм кукурудзи залежно від способів застосування добрив, кг/т

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень					
	2023	2024	2025	2023	2024	2025
	Зерно			Стебла		
Без позакореневого підживлення (чинник В)						
Без добрив (контроль)	0,011	0,014	0,011	0,004	0,005	0,005
N_{80}	0,010	0,012	0,010	0,005	0,005	0,005
N_{160}	0,010	0,013	0,011	0,005	0,005	0,006
$P_{60}K_{110}$	0,010	0,011	0,010	0,003	0,002	0,003
$N_{80}P_{30}K_{55}$	0,010	0,012	0,011	0,005	0,005	0,005
$N_{160}P_{60}K_{110}$	0,010	0,012	0,010	0,005	0,006	0,005
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га						
Без добрив (контроль)	0,012	0,014	0,013	0,005	0,004	0,005
N_{80}	0,013	0,017	0,013	0,006	0,006	0,006
N_{160}	0,013	0,013	0,012	0,007	0,007	0,006
$P_{60}K_{110}$	0,012	0,011	0,011	0,003	0,002	0,003
$N_{80}P_{30}K_{55}$	0,010	0,010	0,008	0,005	0,005	0,005
$N_{160}P_{60}K_{110}$	0,010	0,009	0,008	0,006	0,006	0,005
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га						
Без добрив (контроль)	0,013	0,013	0,013	0,005	0,005	0,005
N_{80}	0,014	0,018	0,014	0,008	0,008	0,006
N_{160}	0,014	0,013	0,013	0,009	0,007	0,007
$P_{60}K_{110}$	0,014	0,019	0,014	0,002	0,003	0,003
$N_{80}P_{30}K_{55}$	0,010	0,010	0,008	0,007	0,006	0,006
$N_{160}P_{60}K_{110}$	0,010	0,010	0,008	0,007	0,006	0,005

Для стебел найнижчі значення встановлено на фоні $P_{60}K_{110}$ – 0,002–0,003 кг/т. На контролі вони становили 0,004–0,005 кг/т, а на азотних і комплексних фонах – переважно 0,005–0,006 кг/т. Отже, відносне винесення цинку стеблами загалом зростало за наявності азотної складової.

Одноразове застосування Брексіл™ Мікс підвищувало відносне винесення цинку зерном на контролі, за N_{80}, N_{160} і частково за $P_{60}K_{110}$. Найвище значення – 0,017 кг/т – отримано у 2024 р. за N_{80}. Водночас на фонах $N_{80}P_{30}K_{55}$ і $N_{160}P_{60}K_{110}$ показник знижувався до 0,008–0,010 кг/т, що відповідало змінам умісту цинку в зерні.

За дворазового підживлення максимальне відносне винесення цинку зерном становило 0,019 кг/т у 2024 р. на фоні $P_{60}K_{110}$, а за N_{80} – 0,018 кг/т. Для стебел максимальні значення встановлено за N_{160} – 0,009 кг/т у 2023 р. та за N_{80} – 0,008 кг/т у 2023–2024 рр. На комплексних NPK–фонах вони були нижчими і становили 0,005–0,007 кг/т.

Сумарне відносне винесення цинку в розрахунку на 1 т зерна та відповідної кількості стебел без позакореневого підживлення становило 0,013–0,022 кг/т (табл. 5.49). На контролі показник змінювався від 0,016 до 0,019 кг/т, за N_{80} – від 0,016 до 0,018, N_{160} – від 0,017 до 0,022, $P_{60}K_{110}$ – від 0,013 до 0,014, $N_{80}P_{30}K_{55}$ – від 0,017 до 0,019, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – від 0,017 до 0,022 кг/т.

У середньому за три роки найнижчий показник без підживлення встановлено за $P_{60}K_{110}$ – 0,0137 кг/т, а найвищі – за N_{160} і $N_{160}P_{60}K_{110}$: відповідно 0,0190 та 0,0187 кг/т. На контролі він становив 0,0177 кг/т.

Одноразове застосування Брексіл™ Мікс збільшувало середнє сумарне відносне винесення на контролі до 0,0187 кг/т, за N_{80} – до 0,0220, N_{160} – до 0,0223 і $P_{60}K_{110}$ – до 0,0143 кг/т. На фонах $N_{80}P_{30}K_{55}$ і $N_{160}P_{60}K_{110}$ показник знижувався відповідно до 0,0163 і 0,0177 кг/т.

Таблиця 5.49

Відносне винесення цинку врожаєм кукурудзи залежно від способів застосування добрив, кг/т зерна та відповідної кількості стебел

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень		
	2023	2024	2025
Без позакореневого підживлення (чинник В)			
Без добрив (контроль)	0,016	0,019	0,018
N_{80}	0,016	0,018	0,017
N_{160}	0,017	0,022	0,018
$P_{60}K_{110}$	0,013	0,014	0,014
$N_{80}P_{30}K_{55}$	0,017	0,019	0,018
$N_{160}P_{60}K_{110}$	0,017	0,022	0,017
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	0,018	0,019	0,019
N_{80}	0,020	0,025	0,021
N_{160}	0,022	0,025	0,020
$P_{60}K_{110}$	0,015	0,013	0,015
$N_{80}P_{30}K_{55}$	0,017	0,017	0,015
$N_{160}P_{60}K_{110}$	0,018	0,020	0,015
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	0,018	0,019	0,019
N_{80}	0,024	0,028	0,022
N_{160}	0,025	0,025	0,022
$P_{60}K_{110}$	0,017	0,023	0,018
$N_{80}P_{30}K_{55}$	0,019	0,017	0,016
$N_{160}P_{60}K_{110}$	0,019	0,020	0,016

За дворазового застосування середнє сумарне відносне винесення становило 0,0187 кг/т на контролі, 0,0247 – за N_{80}, 0,0240 – за N_{160}, 0,0193 – за $P_{60}K_{110}$, 0,0173 – за $N_{80}P_{30}K_{55}$ і 0,0183 кг/т за $N_{160}P_{60}K_{110}$. Максимальне значення – 0,028 кг/т – сформувалося у 2024 р. на фоні N_{80}. Отже, дворазове підживлення найефективніше підвищувало відносне винесення цинку на азотних і фосфорно–калійному фонах.

Частка цинку в зерні була вищою, ніж у стеблах, і змінювалася відповідно в межах 0,04–0,10 та 0,01–0,03 % (табл. 5.50). Без позакореневого підживлення найвищу частку цинку в зерні встановлено на

контролі – 0,06–0,07 %, а найнижчу – за $N_{160}P_{60}K_{110}$, де вона становила 0,04–0,05 %. На інших фонах показник переважно дорівнював 0,05–0,06 %.У стеблах без позакореневого підживлення частка цинку становила 0,02–0,03 % на контролі, 0,02 % на азотних і $N_{80}P_{30}K_{55}$ фонах та 0,01–0,02 % за $P_{60}K_{110}$ і $N_{160}P_{60}K_{110}$. Отже, попри вищий уміст цинку у стеблах на азотних фонах, його частка у структурі елементного складу залишалася низькою.

Таблиця 5.50

Частка цинку в урожаї зерна та стебел кукурудзи залежно від способів застосування добрив, %

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень					
	2023	2024	2025	2023	2024	2025
	Зерно			Стебла		
Без позакореневого підживлення (чинник В)						
Без добрив (контроль)	0,06	0,07	0,06	0,02	0,03	0,03
N_{80}	0,05	0,06	0,05	0,02	0,02	0,02
N_{160}	0,05	0,06	0,05	0,02	0,02	0,02
$P_{60}K_{110}$	0,05	0,06	0,06	0,01	0,01	0,01
$N_{80}P_{30}K_{55}$	0,05	0,05	0,05	0,02	0,02	0,02
$N_{160}P_{60}K_{110}$	0,04	0,05	0,05	0,01	0,02	0,01
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га						
Без добрив (контроль)	0,06	0,08	0,07	0,03	0,03	0,03
N_{80}	0,06	0,08	0,07	0,02	0,03	0,02
N_{160}	0,06	0,06	0,06	0,02	0,02	0,02
$P_{60}K_{110}$	0,06	0,05	0,06	0,01	0,01	0,01
$N_{80}P_{30}K_{55}$	0,04	0,04	0,04	0,02	0,02	0,02
$N_{160}P_{60}K_{110}$	0,04	0,04	0,04	0,02	0,02	0,02
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га						
Без добрив (контроль)	0,06	0,07	0,07	0,03	0,03	0,03
N_{80}	0,06	0,08	0,07	0,03	0,03	0,03
N_{160}	0,06	0,05	0,07	0,03	0,03	0,02
$P_{60}K_{110}$	0,07	0,10	0,08	0,01	0,01	0,01
$N_{80}P_{30}K_{55}$	0,04	0,04	0,04	0,02	0,02	0,02
$N_{160}P_{60}K_{110}$	0,04	0,04	0,04	0,02	0,02	0,02

За дворазового застосування найбільшу частку цинку у зерні отримано на фоні $P_{60}K_{110}$ – 0,07 % у 2023 р., 0,10 % у 2024 р. і 0,08 % у 2025 р. На фоні N_{80} вона становила 0,06–0,08 %, тоді як за комплексного NPK–удобрення залишалася на рівні 0,04 %. У стеблах частка цинку змінювалася незначно й не перевищувала 0,03 %.

Частка цинку в загальному господарському винесенні врожаєм кукурудзи була найменшою серед досліджуваних елементів і становила 0,02–0,05 % (табл. 5.51). Без позакореневого підживлення на контролі вона дорівнювала 0,04–0,05 %, за N_{80} – 0,03–0,04, N_{160} – 0,03, $P_{60}K_{110}$ і $N_{80}P_{30}K_{55}$ – 0,03 %, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – 0,02–0,03 %.

Таблиця 5.51

Частка цинку в загальному господарському винесенні врожаєм кукурудзи залежно від способів застосування добрив, %

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень		
	2023	2024	2025
Без позакореневого підживлення (чинник В)			
Без добрив (контроль)	0,04	0,05	0,04
N_{80}	0,03	0,04	0,03
N_{160}	0,03	0,03	0,03
$P_{60}K_{110}$	0,03	0,03	0,03
$N_{80}P_{30}K_{55}$	0,03	0,03	0,03
$N_{160}P_{60}K_{110}$	0,02	0,03	0,03
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	0,04	0,05	0,05
N_{80}	0,04	0,05	0,04
N_{160}	0,03	0,04	0,03
$P_{60}K_{110}$	0,03	0,03	0,03
$N_{80}P_{30}K_{55}$	0,03	0,03	0,02
$N_{160}P_{60}K_{110}$	0,02	0,03	0,02
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	0,05	0,05	0,05
N_{80}	0,05	0,05	0,04
N_{160}	0,04	0,04	0,04
$P_{60}K_{110}$	0,03	0,04	0,03
$N_{80}P_{30}K_{55}$	0,03	0,03	0,02
$N_{160}P_{60}K_{110}$	0,03	0,02	0,02

Одноразове застосування Брексіл™ Мікс підвищувало частку цинку на контролі та за N_{80}, де вона становила відповідно 0,04–0,05 і 0,04–0,05 %. За N_{160} показник дорівнював 0,03–0,04 %. На фонах $N_{80}P_{30}K_{55}$ і $N_{160}P_{60}K_{110}$ він у 2025 р. знижувався до 0,02 %.

За дворазового застосування частка цинку на контролі становила 0,05 %, за N_{80} – 0,04–0,05, N_{160} – 0,04, $P_{60}K_{110}$ – 0,03–0,04, а на комплексних фонах – 0,02–0,03 %. Найвищі значення формувалися на контролі та за N_{80}, тоді як найнижчі – за $N_{160}P_{60}K_{110}$. Це свідчить, що підвищення продуктивності та загального винесення макроелементів зменшувало відносну частку цинку в елементному складі врожаю.

Результати досліджень показали складну залежність цинкового живлення кукурудзи від системи основного удобрення та позакореневого застосування Брексіл™ Мікс. Без позакореневого підживлення внесення мінеральних добрив переважно знижувало вміст цинку в зерні порівняно з контролем. Найнижчі значення формувалися на фоні $P_{60}K_{110}$, що може бути пов’язано з антагоністичною взаємодією фосфору і цинку.

Одно– та особливо дворазове застосування Брексіл™ Мікс істотно підвищувало вміст цинку в зерні на контролі, азотних і фосфорно–калійному фонах. Максимальний уміст – 18,9 мг/кг – отримано у 2024 р. за $P_{60}K_{110}$ і дворазового підживлення. Водночас на комплексних фонах $N_{80}P_{30}K_{55}$ та $N_{160}P_{60}K_{110}$ концентрація цинку в зерні знижувалася, тоді як у стеблах переважно зростала. Така протилежна реакція може вказувати на зміну розподілу цинку між органами, менш інтенсивну його реутилізацію до зерна або прояв ефекту розбавлення, однак установлення конкретного механізму потребує додаткових досліджень

У стеблах позакореневе підживлення переважно підвищувало вміст цинку, особливо на азотних фонах. Максимальне значення – 8,5 мг/кг – сформувалося у 2023 р. за N_{160} і дворазового застосування препарату. Це зумовило збільшення господарського та відносного винесення цинку вегетативною масою.

Найвище загальне господарське винесення цинку – 0,35 кг/га – отримано за N_{160} і дворазового застосування Брексіл™ Мікс. На азотних фонах дворазове підживлення було ефективнішим за одноразове. За комплексного NPK–удобрення переваги позакореневого застосування щодо загального винесення не встановлено. Отже, ефективність Брексіл™ Мікс у поліпшенні цинкового живлення найбільше залежала від фону основного удобрення, а найкраща реакція формувалася на азотних системах без внесення фосфору.

5.7 Манган

Манган належить до важливих мікроелементів у живленні кукурудзи та бере участь у фотосинтезі, окисно–відновних реакціях, активуванні ферментів, синтезі органічних сполук і засвоєнні азоту. Він входить до складу ферментативних систем, пов'язаних із фотолізом води у процесі фотосинтезу, та впливає на стійкість рослин до несприятливих чинників. Доступність мангану визначається реакцією ґрунтового середовища, його окисно–відновним станом, вологістю та взаємодією з іншими елементами живлення. Тому вміст і винесення мангану кукурудзою можуть істотно змінюватися залежно від системи удобрення, погодних умов і позакореневого підживлення [77].

Вміст мангану в зерні кукурудзи залежав від фону мінерального живлення, року проведення досліджень і способу застосування Брексіл™ Мікс (табл. 5.52). Без позакореневого підживлення середній за три роки показник змінювався від 2,8 до 6,1 мг/кг. На контролі він становив 5,1 мг/кг, за внесення N_{80} – 5,3, N_{160} – 6,1, $P_{60}K_{110}$ – 2,8, $N_{80}P_{30}K_{55}$ – 4,5, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – 4,4 мг/кг.

Найвищий середній уміст мангану сформувався за внесення N_{160} і був на 19,6 % вищим, ніж на контролі. За N_{80} показник зростав лише на 3,9 %. Водночас на фоні $P_{60}K_{110}$ він знижувався на 45,1 %, за $N_{80}P_{30}K_{55}$ – на 11,8 %, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – на 13,7 %. Отже, азотне живлення без фосфорно–калійної складової сприяло накопиченню мангану в зерні, тоді як фосфорно–калійне та комплексне NPK–удобрення переважно знижували його концентрацію.

Негативний вплив $P_{60}K_{110}$ на вміст мангану в зерні був стабільним у всі роки. Без позакореневого підживлення він становив 2,9 мг/кг у 2023 р., 2,3 – у 2024 і 3,1 мг/кг у 2025 р. Максимальні значення зафіксовано на фоні N_{160}: 5,5; 6,1 і 6,7 мг/кг відповідно. На контролі показник поступово зростав від 4,8 до 5,3 мг/кг. Отже, у 2025 р. погодні умови переважно

сприяли вищому накопиченню мангану в зерні.

Таблиця 5.52

Вміст мангану в зерні кукурудзи залежно від способів застосування добрив, мг/кг

Варіант досліду (чинник А)		Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
		2023	2024	2025	
Без позакореневого підживлення (чинник В)					
Без добрив (контроль)		4,8	5,1	5,3	5,1
N_{80}		5,3	5,1	5,5	5,3
N_{160}		5,5	6,1	6,7	6,1
$P_{60}K_{110}$		2,9	2,3	3,1	2,8
$N_{80}P_{30}K_{55}$		4,4	4,1	5,0	4,5
$N_{160}P_{60}K_{110}$		4,3	4,2	4,7	4,4
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)		5,1	5,2	5,6	5,3
N_{80}		6,6	6,0	6,8	6,5
N_{160}		7,1	6,8	7,2	7,0
$P_{60}K_{110}$		2,9	3,1	3,2	3,1
$N_{80}P_{30}K_{55}$		5,7	5,5	6,2	5,8
$N_{160}P_{60}K_{110}$		5,8	5,5	6,3	5,9
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)		5,3	5,6	5,7	5,5
N_{80}		6,5	6,4	7,1	6,7
N_{160}		6,8	6,3	7,2	6,8
$P_{60}K_{110}$		3,0	2,7	3,0	2,9
$N_{80}P_{30}K_{55}$		5,6	5,8	6,9	6,1
$N_{160}P_{60}K_{110}$		5,4	5,3	7,0	5,9
$НІР_{05}$	А	0,2	0,2	0,2	–
	В	0,1	0,1	0,1	–

Одноразове застосування Брексіл™ Мікс підвищувало середній уміст мангану на всіх фонах. На контролі він зростав із 5,1 до 5,3 мг/кг, за N_{80} – із 5,3 до 6,5, N_{160} – із 6,1 до 7,0, $P_{60}K_{110}$ – із 2,8 до 3,1, $N_{80}P_{30}K_{55}$ – із 4,5 до 5,8, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – із 4,4 до 5,9 мг/кг. Найбільший абсолютний приріст отримано за повного NPK–удобрення – 1,5 мг/кг, а також за $N_{80}P_{30}K_{55}$ – 1,3 мг/кг.

За дворазового застосування середній уміст мангану становив 5,5 мг/кг на контролі, 6,7 – за N_{80}, 6,8 – за N_{160}, 2,9 – за $P_{60}K_{110}$, 6,1 – за $N_{80}P_{30}K_{55}$ і 5,9 мг/кг за $N_{160}P_{60}K_{110}$. Порівняно з варіантами без підживлення приріст становив 0,1–1,6 мг/кг. Найвиразнішу реакцію встановлено на фоні $N_{80}P_{30}K_{55}$, де вміст мангану підвищувався на 35,6 %.

Найвищий уміст мангану в зерні – 7,2 мг/кг – отримано у 2025 р. за N_{160} як за одноразового, так і за дворазового застосування препарату. На фоні $N_{80}P_{30}K_{55}$ максимальний показник становив 6,9 мг/кг, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – 7,0 мг/кг. За $P_{60}K_{110}$ дія препарату була найслабшою: середні значення становили 3,1 і 2,9 мг/кг відповідно за одно– та дворазового внесення.

$НІР_{05}$ для чинника А становила 0,2 мг/кг, а для чинника В – 0,1 мг/кг. Тому більшість установлених змін перевищувала межу статистичної похибки. Загалом позакореневе підживлення підвищувало вміст мангану в зерні, однак дворазове внесення не завжди перевищувало одноразове. Зокрема, на фоні N_{160} середній показник був вищим за одноразового застосування, а за $P_{60}K_{110}$ дворазове внесення практично не забезпечувало приросту.

Манган значно інтенсивніше накопичувався у стеблах, ніж у зерні (табл. 5.53). Без позакореневого підживлення його середній уміст у стеблах становив 26,3 мг/кг на контролі, 32,9 – за N_{80}, 45,7 – за N_{160}, 55,5 – за $P_{60}K_{110}$, 40,8 – за $N_{80}P_{30}K_{55}$ і 47,2 мг/кг за $N_{160}P_{60}K_{110}$.

На відміну від зерна, найвищий уміст мангану у стеблах без позакореневого підживлення сформувався на фоні $P_{60}K_{110}$ і був у 2,1 рази вищим порівняно з контролем. За N_{80} показник зростав на 25,1 %, за N_{160} – на 73,8 %, за м – на 55,1 %, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – на 79,5 %. Такий розподіл свідчить, що за фосфорно–калійного живлення манган переважно затримувався у вегетативних органах і менш інтенсивно переміщувався до зерна.

Таблиця 5.53

Вміст мангану в стеблах кукурудзи залежно від способів застосування добрив, мг/кг

Варіант досліду (чинник А)		Рік проведення досліджень			Середнє за три роки
		2023	2024	2025	
Без позакореневого підживлення (чинник В)					
Без добрив (контроль)		24,3	26,1	28,6	26,3
N_{80}		32,7	31,5	34,5	32,9
N_{160}		43,2	45,2	48,7	45,7
$P_{60}K_{110}$		50,1	59,1	57,3	55,5
$N_{80}P_{30}K_{55}$		38,9	40,8	42,6	40,8
$N_{160}P_{60}K_{110}$		45,1	47,2	49,3	47,2
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)		33,6	31,7	35,1	33,5
N_{80}		35,6	34,2	39,7	36,5
N_{160}		38,9	49,6	52,3	46,9
$P_{60}K_{110}$		58,9	61,8	64,8	61,8
$N_{80}P_{30}K_{55}$		52,3	55,7	47,9	52,0
$N_{160}P_{60}K_{110}$		55,7	51,7	52,6	53,3
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)		34,9	36,2	37,9	36,3
N_{80}		45,6	54,9	55,7	52,1
N_{160}		49,7	65,0	64,2	59,6
$P_{60}K_{110}$		60,2	61,3	63,4	61,6
$N_{80}P_{30}K_{55}$		54,9	58,4	55,1	56,1
$N_{160}P_{60}K_{110}$		56,8	57,7	63,4	59,3
$НІР_{05}$	А	1,2	1,3	1,5	–
	В	1,0	1,1	1,2	–

Одноразове застосування Брексіл™ Мікс підвищувало середній уміст мангану у стеблах на всіх фонах. На контролі він зростав із 26,3 до 33,5 мг/кг, за N_{80} – із 32,9 до 36,5, N_{160} – із 45,7 до 46,9, $P_{60}K_{110}$ – із 55,5 до 61,8, $N_{80}P_{30}K_{55}$ – із 40,8 до 52,0, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – із 47,2 до 53,3 мг/кг. Найбільший приріст – 11,2 мг/кг – одержано на фоні $N_{80}P_{30}K_{55}$.

Дворазове застосування препарату було загалом ефективнішим. Середній уміст мангану становив 36,3 мг/кг на контролі,

52,1 – за N_{80}, 59,6 – за N_{160}, 61,6 – за $P_{60}K_{110}$, 56,1 – за $N_{80}P_{30}K_{55}$ і 59,3 мг/кг за $N_{160}P_{60}K_{110}$. Порівняно з варіантами без підживлення приріст становив від 6,1 до 19,2 мг/кг. Найвиразнішу реакцію отримано за N_{80}, де показник збільшувався на 58,4 %.

Максимальний уміст мангану у стеблах – 65,0 мг/кг – сформувався у 2024 р. за N_{160} та дворазового застосування Брексіл™ Мікс. У 2025 р. на цьому ж фоні показник становив 64,2 мг/кг, а за $P_{60}K_{110}$ і $N_{160}P_{60}K_{110}$ – по 63,4 мг/кг. $НІР_{05}$ для чинника В становила 1,0–1,2 мг/кг, тому більшість установлених приростів була статистично істотною.

Отже, позакореневе підживлення значно сильніше впливало на накопичення мангану у стеблах, ніж у зерні. Дворазове застосування мало виразну перевагу на контролі, азотних і комплексних NPK–фонах, тоді як на $P_{60}K_{110}$ результати одно– і дворазового підживлення були практично однаковими.

Господарське винесення мангану визначалося його концентрацією у зерні та стеблах і величиною сформованої біомаси (табл. 5.54). Основна кількість мангану в усіх варіантах накопичувалася у стеблах. Без позакореневого підживлення винесення зерном становило 0,02–0,09 кг/га, тоді як стеблами – 0,27–1,07 кг/га.

На контролі зерно виносило 0,04–0,06 кг/га мангану, а стебла – 0,27–0,42 кг/га. За N_{80} відповідні показники становили 0,06–0,07 і 0,46–0,57 кг/га, за N_{160} – 0,08–0,09 і 0,80–0,99 кг/га. На фоні $P_{60}K_{110}$ винесення зерном було найнижчим – 0,02–0,03 кг/га, тоді як стеблами досягало 0,63–0,83 кг/га. Це підтверджує переважне накопичення мангану у вегетативній масі за фосфорно–калійного живлення.

За $N_{80}P_{30}K_{55}$ винесення мангану зерном становило 0,05–0,07 кг/га, а стеблами – 0,64–0,77 кг/га. Найвищі без підживлення показники одержано за $N_{160}P_{60}K_{110}$: 0,05–0,07 кг/га зерном і 0,89–1,07 кг/га стеблами. Отже, висока концентрація мангану у стеблах у поєднанні зі значною вегетативною масою визначала основний обсяг його господарського

винесення.

Таблиця 5.54

Господарське винесення мангану врожаєм кукурудзи залежно від способів застосування добрив, кг/га

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень					
	2023	2024	2025	2023	2024	2025
	Зерно			Стебла		
Без позакореневого підживлення (чинник В)						
Без добрив (контроль)	0,05	0,04	0,06	0,30	0,27	0,42
N_{80}	0,07	0,06	0,07	0,53	0,46	0,57
N_{160}	0,08	0,08	0,09	0,80	0,99	0,93
$P_{60}K_{110}$	0,03	0,02	0,03	0,69	0,63	0,83
$N_{80}P_{30}K_{55}$	0,06	0,05	0,07	0,68	0,64	0,77
$N_{160}P_{60}K_{110}$	0,06	0,05	0,07	0,89	1,07	0,98
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га						
Без добрив (контроль)	0,05	0,04	0,06	0,42	0,34	0,52
N_{80}	0,09	0,07	0,08	0,59	0,51	0,66
N_{160}	0,10	0,09	0,10	0,73	1,11	1,01
$P_{60}K_{110}$	0,03	0,03	0,04	0,82	0,68	0,96
$N_{80}P_{30}K_{55}$	0,08	0,07	0,08	0,94	0,89	0,87
$N_{160}P_{60}K_{110}$	0,08	0,07	0,09	1,12	1,21	1,06
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га						
Без добрив (контроль)	0,06	0,05	0,06	0,44	0,39	0,57
N_{80}	0,09	0,08	0,09	0,76	0,83	0,93
N_{160}	0,09	0,08	0,10	0,93	1,46	1,26
$P_{60}K_{110}$	0,03	0,02	0,03	0,85	0,67	0,94
$N_{80}P_{30}K_{55}$	0,08	0,07	0,09	0,98	0,94	1,01
$N_{160}P_{60}K_{110}$	0,08	0,07	0,10	1,13	1,33	1,27

Одноразове застосування Брексіл™ Мікс переважно збільшувало винесення мангану обома складовими врожаю. Найбільше винесення зерном становило 0,10 кг/га за N_{160}, а стеблами – 1,21 кг/га за $N_{160}P_{60}K_{110}$ у 2024 р. На фоні $N_{80}P_{30}K_{55}$ винесення стеблами зростало до 0,87–0,94 кг/га.

За дворазового підживлення винесення стеблами збільшувалося ще більше. Максимальне значення – 1,46 кг/га – сформувалося у 2024 р. за

N_{160}. За $N_{160}P_{60}K_{110}$ воно становило 1,13–1,33 кг/га, а за $N_{80}P_{30}K_{55}$ – 0,94–1,01 кг/га. Винесення зерном при цьому залишалося порівняно низьким і не перевищувало 0,10 кг/га. Таким чином, ефект позакореневого підживлення реалізувався переважно через збільшення накопичення мангану у стебловій масі.

Загальне господарське винесення мангану врожаєм кукурудзи змінювалося від 0,32 до 1,54 кг/га залежно від фону живлення, року та способу застосування Брексіл™ Мікс (табл. 5.55). Без позакореневого підживлення на контролі воно становило 0,32–0,48 кг/га, за N_{80} – 0,52–0,63, N_{160} – 0,87–1,07, $P_{60}K_{110}$ – 0,65–0,87, $N_{80}P_{30}K_{55}$ – 0,69–0,84, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – 0,95–1,12 кг/га.

Таблиця 5.55

Загальне господарське винесення мангану врожаєм кукурудзи залежно від способів застосування добрив, кг/га

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень		
	2023	2024	2025
Без позакореневого підживлення (чинник В)			
Без добрив (контроль)	0,36	0,32	0,48
N_{80}	0,60	0,52	0,63
N_{160}	0,87	1,07	1,02
$P_{60}K_{110}$	0,72	0,65	0,87
$N_{80}P_{30}K_{55}$	0,74	0,69	0,84
$N_{160}P_{60}K_{110}$	0,95	1,12	1,05
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	0,48	0,39	0,58
N_{80}	0,68	0,58	0,74
N_{160}	0,83	1,19	1,11
$P_{60}K_{110}$	0,85	0,71	0,99
$N_{80}P_{30}K_{55}$	1,02	0,96	0,96
$N_{160}P_{60}K_{110}$	1,20	1,28	1,15
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	0,50	0,44	0,63
N_{80}	0,85	0,90	1,02
N_{160}	1,03	1,54	1,37
$P_{60}K_{110}$	0,88	0,69	0,97
$N_{80}P_{30}K_{55}$	1,05	1,01	1,10
$N_{160}P_{60}K_{110}$	1,20	1,40	1,37

У середньому за три роки без підживлення загальне винесення становило 0,39 кг/га на контролі, 0,58 – за N_{80}, 0,99 – за N_{160}, 0,75 – за $P_{60}K_{110}$, 0,76 – за $N_{80}P_{30}K_{55}$ і 1,04 кг/га за $N_{160}P_{60}K_{110}$. Порівняно з контролем показник збільшувався в 1,5 рази за N_{80}, у 2,6 рази за N_{160}, в 1,9 рази за $P_{60}K_{110}$ і $N_{80}P_{30}K_{55}$ та у 2,7 рази за повного NPK–удобрення.

Одноразове застосування Брексіл™ Мікс збільшувало середнє загальне винесення на всіх фонах. На контролі воно зростало до 0,48 кг/га, за N_{80} – до 0,67, N_{160} – до 1,04, $P_{60}K_{110}$ – до 0,85, $N_{80}P_{30}K_{55}$ – до 0,98, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – до 1,21 кг/га. Найбільший середній приріст отримано на фоні $N_{80}P_{30}K_{55}$ – 0,22 кг/га.

За дворазового застосування середнє загальне винесення становило 0,52 кг/га на контролі, 0,92 – за N_{80}, 1,31 – за N_{160}, 0,85 – за $P_{60}K_{110}$, 1,05 – за $N_{80}P_{30}K_{55}$ і 1,32 кг/га за $N_{160}P_{60}K_{110}$. Порівняно з варіантами без підживлення приріст становив від 0,10 кг/га на $P_{60}K_{110}$ до 0,34 кг/га за N_{80}.

Максимальне загальне господарське винесення мангану – 1,54 кг/га – сформувалося у 2024 р. за N_{160} та дворазового застосування препарату. За $N_{160}P_{60}K_{110}$ найвище значення становило 1,40 кг/га, а за $N_{80}P_{30}K_{55}$ – 1,10 кг/га. Отже, дворазове позакореневе підживлення істотно підвищувало загальне винесення мангану, особливо на азотних фонах.

Відносне винесення мангану зерном було значно нижчим, ніж стеблами (табл. 5.56). Без позакореневого підживлення відносне винесення мангану зерном становило 0,002–0,007 кг/т, тоді як стеблами – 0,024–0,059 кг/т. На контролі показник для зерна становив 0,005 кг/т, а для стебел – 0,024–0,029 кг/т.

За N_{80} відносне винесення зерном становило 0,005–0,006 кг/т, стеблами – 0,032–0,035; за N_{160} – відповідно 0,006–0,007 і 0,043–0,049 кг/т. На фоні $P_{60}K_{110}$ сформувалося найнижче відносне винесення зерном – 0,002–0,003 кг/т, але найвище стеблами – 0,050–0,059 кг/т. Таке поєднання показників може свідчити про менш інтенсивну реутилізацію мангану зі стебел до зерна.

Таблиця 5.56

Відносне винесення мангану врожаєм кукурудзи залежно від способів застосування добрив, кг/т

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень					
	2023	2024	2025	2023	2024	2025
	Зерно			Стебла		
Без позакореневого підживлення (чинник В)						
Без добрив (контроль)	0,005	0,005	0,005	0,024	0,026	0,029
N_{80}	0,005	0,005	0,006	0,033	0,032	0,035
N_{160}	0,006	0,006	0,007	0,043	0,045	0,049
$P_{60}K_{110}$	0,003	0,002	0,003	0,050	0,059	0,057
$N_{80}P_{30}K_{55}$	0,004	0,004	0,005	0,039	0,041	0,043
$N_{160}P_{60}K_{110}$	0,004	0,004	0,005	0,045	0,047	0,049
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га						
Без добрив (контроль)	0,005	0,005	0,006	0,034	0,032	0,035
N_{80}	0,007	0,006	0,007	0,036	0,034	0,040
N_{160}	0,007	0,007	0,007	0,039	0,050	0,052
$P_{60}K_{110}$	0,003	0,003	0,003	0,059	0,062	0,065
$N_{80}P_{30}K_{55}$	0,006	0,006	0,006	0,052	0,056	0,048
$N_{160}P_{60}K_{110}$	0,006	0,006	0,006	0,056	0,052	0,053
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га						
Без добрив (контроль)	0,005	0,006	0,006	0,035	0,036	0,038
N_{80}	0,007	0,006	0,007	0,046	0,055	0,056
N_{160}	0,007	0,006	0,007	0,050	0,065	0,064
$P_{60}K_{110}$	0,003	0,003	0,003	0,060	0,061	0,063
$N_{80}P_{30}K_{55}$	0,006	0,006	0,007	0,055	0,058	0,055
$N_{160}P_{60}K_{110}$	0,005	0,005	0,007	0,057	0,058	0,063

Одноразове застосування Брексіл™ Мікс підвищувало відносне винесення мангану зерном переважно на азотних і комплексних фонах. У стеблах показник зростав на більшості варіантів і досягав 0,065 кг/т за $P_{60}K_{110}$ у 2025 р., 0,056 кг/т за $N_{80}P_{30}K_{55}$ у 2024 р. та 0,056 кг/т за $N_{160}P_{60}K_{110}$ у 2023 р.

За дворазового підживлення відносне винесення мангану стеблами становило 0,035–0,038 кг/т на контролі, 0,046–0,056 – за N_{80}, 0,050–0,065 –

за N_{160}, 0,060–0,063 – за $P_{60}K_{110}$, 0,055–0,058 – за $N_{80}P_{30}K_{55}$ і 0,057–0,063 кг/т за $N_{160}P_{60}K_{110}$. Максимальне значення – 0,065 кг/т – отримано у 2024 р. за N_{160}. Отже, позакореневе підживлення посилювало насамперед накопичення мангану в одиниці маси стебел.

Сумарне відносне винесення мангану в розрахунку на 1 т зерна та відповідної кількості стебел без позакореневого підживлення становило 0,034–0,088 кг/т (табл. 5.57). На контролі показник змінювався від 0,034 до 0,043 кг/т, за N_{80} – від 0,045 до 0,052, N_{160} – від 0,063 до 0,085, $P_{60}K_{110}$ – від 0,064 до 0,078, $N_{80}P_{30}K_{55}$ – від 0,055 до 0,064, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – від 0,068 до 0,088 кг/т.

Таблиця 5.57

Відносне винесення мангану врожаєм кукурудзи залежно від способів застосування добрив, кг/т зерна та відповідної кількості стебел

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень		
	2023	2024	2025
Без позакореневого підживлення (чинник В)			
Без добрив (контроль)	0,034	0,038	0,043
N_{80}	0,046	0,045	0,052
N_{160}	0,063	0,085	0,073
$P_{60}K_{110}$	0,064	0,074	0,078
$N_{80}P_{30}K_{55}$	0,055	0,057	0,064
$N_{160}P_{60}K_{110}$	0,068	0,088	0,074
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	0,045	0,045	0,052
N_{80}	0,051	0,049	0,060
N_{160}	0,059	0,092	0,078
$P_{60}K_{110}$	0,075	0,080	0,089
$N_{80}P_{30}K_{55}$	0,074	0,077	0,072
$N_{160}P_{60}K_{110}$	0,085	0,098	0,081
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	0,047	0,051	0,057
N_{80}	0,063	0,076	0,083
N_{160}	0,074	0,119	0,096
$P_{60}K_{110}$	0,078	0,078	0,087
$N_{80}P_{30}K_{55}$	0,076	0,082	0,083
$N_{160}P_{60}K_{110}$	0,085	0,107	0,095

У середньому за три роки без підживлення найвищі значення сформувалися за $N_{160}P_{60}K_{110}$ і N_{160} – відповідно 0,077 і 0,074 кг/т. На фоні $P_{60}K_{110}$ показник становив 0,072 кг/т, незважаючи на найнижчий уміст мангану в зерні, що пояснюється його високою концентрацією у стеблах.

Одноразове застосування Бреxсіл™ Мікс збільшувало сумарне відносне винесення на всіх фонах. У середньому воно становило 0,047 кг/т на контролі, 0,053 – за N_{80}, 0,076 – за N_{160}, 0,081 – за $P_{60}K_{110}$, 0,074 – за $N_{80}P_{30}K_{55}$ і 0,088 кг/т за $N_{160}P_{60}K_{110}$.

За дворазового застосування середній показник зростав до 0,052 кг/т на контролі, 0,074 – за N_{80}, 0,096 – за N_{160}, 0,081 – за $P_{60}K_{110}$, 0,080 – за $N_{80}P_{30}K_{55}$ і 0,096 кг/т за $N_{160}P_{60}K_{110}$. Максимальне значення – 0,119 кг/т – сформувалося у 2024 р. за N_{160}. На повному NPK–фоні воно становило 0,107 кг/т. Отже, дворазове підживлення найефективніше підвищувало сумарне відносне винесення на фонах із високою дозою азоту.

Частка мангану у стеблах у декілька разів перевищувала відповідний показник у зерні (табл. 5.58). Без позакореневого підживлення частка мангану в зерні становила 0,01–0,03 %, а у стеблах – 0,13–0,25 %. На контролі вона дорівнювала відповідно 0,02–0,03 і 0,14–0,16 %.

За N_{80} частка мангану в зерні становила 0,02–0,03 %, а у стеблах – 0,14–0,15 %. За N_{160} відповідні показники дорівнювали 0,03 і 0,15–0,16 %. Найвища частка мангану у стеблах формувалася на фоні $P_{60}K_{110}$ – 0,20–0,25 %, тоді як у зерні вона була найнижчою – 0,01–0,02 %. Це підтверджує переважне утримання елемента у вегетативній частині врожаю на цьому фоні.

Одноразове застосування Бреxсіл™ Мікс збільшувало частку мангану у стеблах на більшості фонів. На контролі вона становила 0,18–0,19 %, за $P_{60}K_{110}$ – 0,23–0,25, за $N_{80}P_{30}K_{55}$ – 0,15–0,18, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – 0,15–0,16 %. У зерні зміни були значно меншими.

Таблиця 5.58

Частка мангану в урожаї зерна та стебел кукурудзи залежно від способів застосування добрив, %

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень					
	2023	2024	2025	2023	2024	2025
	Зерно			Стебла		
Без позакореневого підживлення (чинник В)						
Без добрив (контроль)	0,02	0,03	0,03	0,14	0,16	0,16
N_{80}	0,02	0,02	0,03	0,15	0,14	0,15
N_{160}	0,03	0,03	0,03	0,15	0,16	0,16
$P_{60}K_{110}$	0,01	0,01	0,02	0,20	0,25	0,23
$N_{80}P_{30}K_{55}$	0,02	0,02	0,03	0,13	0,14	0,14
$N_{160}P_{60}K_{110}$	0,02	0,02	0,02	0,13	0,15	0,15
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га						
Без добрив (контроль)	0,02	0,03	0,03	0,19	0,18	0,19
N_{80}	0,03	0,03	0,03	0,16	0,15	0,17
N_{160}	0,03	0,03	0,03	0,13	0,17	0,17
$P_{60}K_{110}$	0,01	0,02	0,02	0,23	0,24	0,25
$N_{80}P_{30}K_{55}$	0,03	0,03	0,03	0,17	0,18	0,15
$N_{160}P_{60}K_{110}$	0,02	0,02	0,03	0,16	0,16	0,15
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га						
Без добрив (контроль)	0,03	0,03	0,03	0,19	0,21	0,21
N_{80}	0,03	0,03	0,04	0,19	0,24	0,24
N_{160}	0,03	0,03	0,03	0,16	0,23	0,21
$P_{60}K_{110}$	0,01	0,01	0,01	0,22	0,24	0,24
$N_{80}P_{30}K_{55}$	0,03	0,02	0,03	0,18	0,20	0,17
$N_{160}P_{60}K_{110}$	0,02	0,02	0,03	0,16	0,17	0,19

За дворазового застосування найбільша частка мангану у стеблах становила 0,24 % за N_{80} і $P_{60}K_{110}$, 0,23 % за N_{160} та 0,21 % на контролі. Частка у зерні не перевищувала 0,04 %. Отже, позакореневе підживлення змінювало розподіл мангану переважно внаслідок його інтенсивнішого накопичення у стеблах.

Частка мангану в загальному господарському винесенні врожаєм кукурудзи становила 0,09–0,17 % (табл. 5.59). Без позакореневого

підживлення на контролі вона дорівнювала 0,09–0,11 %, за N_{80} – 0,09–0,10, N_{160} – 0,10–0,12, $P_{60}K_{110}$ – 0,13–0,16, $N_{80}P_{30}K_{55}$ – 0,09–0,10, а за $N_{160}P_{60}K_{110}$ – 0,10–0,11 %.

Таблиця 5.59

Частка мангану в загальному господарському винесенні врожаєм кукурудзи залежно від способів застосування добрив, %

Варіант досліду (чинник А)	Рік проведення досліджень		
	2023	2024	2025
Без позакореневого підживлення (чинник В)			
Без добрив (контроль)	0,09	0,10	0,11
N_{80}	0,09	0,09	0,10
N_{160}	0,10	0,12	0,12
$P_{60}K_{110}$	0,13	0,16	0,15
$N_{80}P_{30}K_{55}$	0,09	0,09	0,10
$N_{160}P_{60}K_{110}$	0,10	0,11	0,11
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	0,11	0,11	0,12
N_{80}	0,10	0,10	0,12
N_{160}	0,09	0,13	0,13
$P_{60}K_{110}$	0,15	0,16	0,17
$N_{80}P_{30}K_{55}$	0,12	0,13	0,11
$N_{160}P_{60}K_{110}$	0,12	0,12	0,12
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га			
Без добрив (контроль)	0,11	0,13	0,13
N_{80}	0,12	0,15	0,16
N_{160}	0,11	0,16	0,16
$P_{60}K_{110}$	0,14	0,15	0,16
$N_{80}P_{30}K_{55}$	0,12	0,13	0,13
$N_{160}P_{60}K_{110}$	0,12	0,13	0,14

Найвищу частку мангану без позакореневого підживлення отримано на фоні $P_{60}K_{110}$. Це зумовлено високим накопиченням елемента у стеблах і відповідно більшою його часткою в сумарному винесенні. На інших удобрених фонах показник був ближчим до контролю.

Одноразове застосування Брексіл™ Мікс підвищувало частку мангану на більшості фонів. На контролі вона становила 0,11–0,12 %, за N_{80} – 0,10–0,12, N_{160} – 0,09–0,13, $P_{60}K_{110}$ – 0,15–0,17, $N_{80}P_{30}K_{55}$ – 0,11–0,13, а за

$N_{160}P_{60}K_{110}$ – 0,12 %.

За дворазового застосування показник зростав до 0,11–0,13 % на контролі, 0,12–0,16 – за N_{80}, 0,11–0,16 – за N_{160}, 0,14–0,16 – за $P_{60}K_{110}$, 0,12–0,13 – за $N_{80}P_{30}K_{55}$ і 0,12–0,14 % за $N_{160}P_{60}K_{110}$. Максимальне значення – 0,17 % – установлено за одноразового підживлення на фоні $P_{60}K_{110}$ у 2025 р. Дворазове застосування найбільше підвищувало частку мангану на азотних фонах.

Результати досліджень показали, що манган переважно накопичувався у стеблах кукурудзи. Його вміст у вегетативній масі в декілька разів перевищував концентрацію у зерні, а господарське винесення стеблами було основною складовою загального винесення.

Система основного удобрення по–різному впливала на розподіл мангану між органами рослин. Азотне живлення, особливо N_{160}, підвищувало його вміст у зерні та стеблах. Фон $P_{60}K_{110}$ формував найнижчу концентрацію мангану в зерні, але найвищу у стеблах. Це може вказувати на обмежене переміщення елемента з вегетативних органів до зерна за фосфорно–калійного удобрення.

Позакореневе застосування Брексіл™ Мікс підвищувало вміст мангану, його господарське та відносне винесення. Найвиразніший ефект отримано у стеблах, де дворазове застосування переважно перевищувало одноразове. На фоні $P_{60}K_{110}$ додаткове збільшення кратності внесення мало слабший ефект, оскільки вміст мангану у стеблах уже був високим без підживлення.

Максимальний уміст мангану в зерні – 7,2 мг/кг – сформувався у 2025 р. за N_{160} та застосування Брексіл™ Мікс. Максимальний уміст у стеблах – 65,0 мг/кг, загальне господарське винесення – 1,54 кг/га, а сумарне відносне винесення – 0,119 кг/т зерна та відповідної кількості стебел – отримано у 2024 р. за N_{160} і дворазового підживлення. Отже, найкраща реакція манганового живлення кукурудзи на Брексіл™ Мікс формувалася на фоні високого рівня азотного живлення.

Висновки до розділу

Проведені дослідження показали, що особливості накопичення, розподілу та господарського винесення елементів живлення кукурудзою визначалися насамперед системою основного мінерального удобрення, погодними умовами року та характером взаємодії між окремими елементами. Позакореневе застосування Брексіл™ Мікс виконувало переважно коригувальну функцію, а його ефективність залежала від фонового забезпечення рослин елементами живлення. Вплив препарату був більш вираженим для магнію, цинку та мангану, менш стабільним – для калію, фосфору й сірки, і мінімальним щодо концентрації азоту в зерні.

Азотне живлення було визначальним чинником формування вмісту азоту та сірки, а також значною мірою впливало на накопичення магнію, цинку й мангану у вегетативній масі. Підвищення дози азоту до N_{160} збільшувало врожайність і біомасу рослин, унаслідок чого зростало господарське винесення більшості досліджуваних елементів навіть без їх безпосереднього внесення. Це свідчить про посилене використання ґрунтових запасів поживних речовин за інтенсивного азотного живлення та необхідність збалансованого удобрення.

Повне мінеральне удобрення $N_{160}P_{60}K_{110}$ переважно забезпечувало найвище загальне господарське винесення азоту, калію, фосфору, магнію та сірки. Такий результат був зумовлений поєднанням вищої продуктивності посіву, значної маси стебел і кращого забезпечення рослин основними елементами живлення. Водночас максимальні концентрації окремих мікроелементів не завжди формувалися на повному NPK-фоні, що вказує на складні синергічні й антагоністичні взаємодії між елементами та на можливий ефект розбавлення за зростання врожаю.

Розподіл елементів між зерном і стеблами мав чіткі видові особливості. Азот, фосфор, сірка та цинк у більшій концентрації накопичувалися в зерні, хоча за високого рівня живлення частка їх

винесення стеблами істотно зростала. Калій, магній і манган переважно зосереджувалися у вегетативній масі. Особливо виразним це було для калію та мангану, господарське винесення яких стеблами у декілька разів перевищувало винесення зерном. Отже, спосіб використання побічної продукції є важливим чинником балансу елементів у системі удобрення кукурудзи.

Залишення стебел на полі мало найбільше значення для повернення калію, магнію та мангану, оскільки основна частина цих елементів накопичувалася у вегетативній масі. За збирання лише зерна внесення K_{55}– K_{110} і P_{60}– P_{60} забезпечувало додатний баланс калію та фосфору. На фонах без відповідних добрив баланс залишався від'ємним, а підвищення рівня азотного живлення посилювало дефіцит унаслідок інтенсивнішого використання ґрунтових запасів. Баланс азоту був від'ємним у всіх досліджуваних варіантах, що вказує на значне винесення азоту врожаєм і необхідність урахування всіх джерел його надходження та втрат у системі удобрення.

Позакореневе застосування Брексіл™ Мікс неоднаково впливало на досліджувані елементи. Для азоту чіткої сталої зміни концентрації в зерні не встановлено. Для калію та фосфору препарат переважно підвищував уміст у зерні й господарське винесення, однак дворазове застосування не завжди мало перевагу над одноразовим. Найвиразніший і найпослідовніший ефект спостерігався для магнію та мангану, особливо щодо їх накопичення у стеблах і загального винесення. Для сірки реакція залежала від азотного фону, а для цинку була найбільш контрастною: на контролі, азотних і фосфорно-калійному фонах уміст цинку в зерні зростав, тоді як на комплексних NPK-фонах переважно знижувався.

Дворазове застосування Брексіл™ Мікс найчастіше перевищувало одноразове за показниками накопичення магнію, цинку та мангану у стеблах і за їх загальним господарським винесенням. Для макроелементів така перевага була менш стабільною й залежала від року та фону

мінерального живлення. Отже, збільшення кратності позакореневого підживлення не можна розглядати як універсальний чинник підвищення засвоєння всіх елементів; його доцільність має визначатися вихідним рівнем мінерального живлення та цільовим елементом.

Відмінності показників за роками досліджень підтвердили істотну роль погодних умов у доступності елементів, їх поглинанні, перерозподілі між органами та винесенні врожаєм. Найбільші відмінності між роками спостерігалися для вмісту калію, магнію, цинку та мангану, а також для господарського винесення елементів стебловою масою. Це свідчить про необхідність оцінювати ефективність систем удобрення не за одним роком, а за багаторічними результатами.

Отже, найвищий рівень використання більшості елементів у формуванні врожаю забезпечувався за достатнього азотного живлення та збалансованого забезпечення рослин фосфором і калієм. Позакореневе застосування Брексіл™ Мікс доповнювало основну систему удобрення, але не замінювало її. Для підтримання родючості ґрунту та стабільного мінерального живлення кукурудзи необхідно узгоджувати дози основних добрив із фактичним винесенням елементів, повертати стеблову масу в ґрунт і враховувати специфічну реакцію макро- та мікроелементів на фон живлення й погодні умови.

Результати досліджень висвітлено в праці [135].

РОЗДІЛ 6
ЕКОНОМІЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РІЗНИХ СПОСОБІВ ВНЕСЕННЯ ДОБРИВ ПІД КУКУРУДЗУ

Азот є критично важливим елементом живлення для продуктивності сільськогосподарських культур, відіграючи важливу роль у рості та розвитку рослин, що, в свою чергу, підвищує врожайність та якість продуктів харчування. Для кукурудзи ефективне управління азотними добривами особливо важливе як на вегетаційній, так і на репродуктивній стадіях для оптимізації росту та структури зерна [121]. Адекватне азотне удобрення запобігає таким дефіцитам, як хлороз, погана структура качана та зниження врожайності. І навпаки, надмірне внесення азотних добрив збільшує виробничі витрати, знижує ефективність та негативно впливає на навколишнє середовище через забруднення ґрунтових вод та ризики для здоров'я людини та тварин [77].

Економічна ефективність удобрення є одним із чинників, що визначає дозу внесення добрив. Не завжди збільшення дози добрив сприяє збільшенню прибутку, навіть за одночасного підвищення врожайності зерна. Отже, проведення економічних обрахунків необхідне, підкреслюючи необхідність збалансованого управління поживними речовинами для покращення врожайності та структури зерна, мінімізації ризиків та захисту навколишнього середовища.

Необхідно відзначити, що за обрахунку ефективності внесення лише добрив найбільший прибуток забезпечує внесення N_{160} з позакореневим підживленням препаратом Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га – 21,2 тис. грн./га (табл. 6.1). Дещо менший прибуток забезпечує внесення такої дози азотних добрив без позакореневого підживлення – 20,9тис. грн./га. Дворазове застосування препарату в підживлення не мало економічних переваг порівняно з ділянками без підживлення.

За такого способу обрахунків варінати із повним мінеральним

добривом були економічно менш ефективними, а фосфорно-калійна система була неефективною.

Таблиця 6.1

Економічна ефективність різних способів внесення добрив під кукурудзу, 2026 р.

Варіант досліду	Показник				
	Приріст урожайності, т/га	Вартість приросту врожаю зерна, тис. грн/га	Витрати на застосування добрив, тис. грн/га	Умовно чистий прибуток/збиток, тис. грн/га	Рівень рентабельності / збитковості за умовно чистим прибутком, %
Без позакореневого підживлення (чинник В)					
N_{80}	2,7	19,4	3,8	15,6	411
N_{160}	4,06	29,2	8,3	20,9	252
$P_{60}K_{110}$	0,44	3,2	10,8	-7,6	-70
$N_{80}P_{30}K_{55}$	3,44	24,8	9,2	15,6	170
$N_{160}P_{60}K_{110}$	4,23	30,5	18,9	11,6	61
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га					
N_{80}	2,77	19,9	4,3	15,6	363
N_{160}	4,17	30,0	8,8	21,2	241
$P_{60}K_{110}$	0,44	3,2	11,3	-8,1	-72
$N_{80}P_{30}K_{55}$	3,54	25,5	9,7	15,8	163
$N_{160}P_{60}K_{110}$	4,35	31,3	19,4	11,9	61
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га					
N_{80}	2,77	19,9	4,9	15,0	306
N_{160}	4,17	30,0	9,4	20,6	219
$P_{60}K_{110}$	0,44	3,2	11,9	-8,7	-73
$N_{80}P_{30}K_{55}$	3,54	25,5	10,3	15,2	148
$N_{160}P_{60}K_{110}$	4,34	31,2	20,0	11,2	56

За умови обрахунку витрат на вирощування кукурудзи усі варіанти удобрення були ефективними (табл. 6.2). При цьому найвищий прибуток отримано за внесення N_{160} з позакореневим підживленням препаратом

Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га – 71,1 тис. грн./га. Вирощування кукурудзи без позакореневого підживлення забезпечувало майже таку ж ефективність – 69,8 тис. грн./га. Застосування повного мінерального добрива забезпечувало отримання меншого прибутку порівняно з азотними системами. При цьому внесення $N_{80}P_{30}K_{55}$ забезпечувало найменше зниження прибутку – на 5,4 тис. грн./га порівняно з N_{160}.

Таблиця 6.2

Економічна ефективність вирощування кукурудзи, 2026 р.

Варіант досліду	Показник				
	Урожайність, т/га	Вартість продукції, тис. грн/га	Витрати на вирощування, тис. грн/га	Умовно чистий прибуток, тис. грн/га	Рівень рентабельності за умовно чистим прибутком, %
Без позакореневого підживлення (чинник В)					
Без добрив (контроль)	11,60	83,5	34,7	48,8	141
N_{80}	14,30	103,0	38,5	64,5	167
N_{160}	15,66	112,8	43,0	69,8	162
$P_{60}K_{110}$	12,04	86,7	45,5	41,2	91
$N_{80}P_{30}K_{55}$	15,04	108,3	43,9	64,4	147
$N_{160}P_{60}K_{110}$	15,83	114,0	53,6	60,4	113
Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)	11,75	84,6	35,2	49,4	140
N_{80}	14,52	104,5	39,0	65,5	168
N_{160}	15,92	114,6	43,5	71,1	164
$P_{60}K_{110}$	12,19	87,8	46,0	41,8	91
$N_{80}P_{30}K_{55}$	15,29	110,1	44,4	65,7	148
$N_{160}P_{60}K_{110}$	16,10	115,9	54,1	61,8	114
Брексіл™ Мікс 1,5 + 1,5 кг/га					
Без добрив (контроль)	11,75	84,6	35,8	48,8	136
N_{80}	14,52	104,5	39,6	64,9	164
N_{160}	15,92	114,6	44,1	70,5	160
$P_{60}K_{110}$	12,19	87,8	46,6	41,2	88
$N_{80}P_{30}K_{55}$	15,29	110,1	45,0	65,1	145
$N_{160}P_{60}K_{110}$	16,09	115,8	54,7	61,1	112

Отже, в результаті проведених обрахунків встановлено, що для отримання високого прибутку та підтримання родючості чорнозему опідзоленого необхідно застосувати $N_{80}P_{30}K_{55}$ з позакореневим підживленням препаратом Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га. В агротехнології кукурудзи для отримання найбільшого прибутку можливе тимчасове застосування N_{160} з позакореневим підживленням препаратом Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га або без підживлення.

Результати, що подано в розділі, висвітлено в праці [137].

ВИСНОВКИ

У дисертації визначено формування показників продуктивності кукурудзи за різних видів і доз добрив, позакореневого підживлення мікродобривом з урахуванням сучасних змін погодних умов. Встановлено параметри господарського, відносного винесення мінеральних елементів живлення, баланс основних елементів живлення за різного удобрення та погодних умов, що виражається наступними положеннями:

Застосування добрив з азотною складовою достовірно підвищувало вміст хлорофілу в листках кукурудзи упродовж усіх років досліджень. У середньому за три роки досліджень вміст хлорофілу зростав від 45,0 до 52,3 % залежно від варіанту досліду або на 16 % без застосування позакореневого підживлення. Застосування препарату Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га підвищувало вміст хлорофілу до 45,6–54,4 % або на 1–3 % порівняно з ділянками без позакореневого підживлення. За умови дворазового застосування цього препарату цей показник зростав до 46,3–53,9 % або на 2–3 % порівняно з ділянками без позакореневого підживлення, проте був на рівні ділянок з одноразовим застосуванням Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га.

Рівень стресу рослин мало змінювався порівняно з ділянками, де застосовували добрива. Крім цього, цей показник був майже на однаковому рівні впродовж років досліджень. Достовірно зростав азотно-флавоноїдний індекс листків кукурудзи за внесення добрив з азотною складовою та позакореневими підживленнями. Так, на тлі внесення лише повного мінерального добрива азотно-флавоноїдний індекс зростав до 1,90–2,17 од. п. або на 28–46 % порівняно з контрольним варіантом. Одноразове позакореневе підживлення забезпечувало формування азотно-флавоноїдного індексу до 2,00–2,53 од. п. проти 1,59 од. п. на контролі. За умови дворазового позакореневого підживлення азотно-флавоноїдний індекс зростав від 1,61 до 2,35–2,68 од. п.

Урожайність зерна кукурудзи найбільше збільшувалась від застосування повного мінерального добрива. Так, у середньому за три роки досліджень урожайність підвищувалась від 11,60 до 14,30–15,83 т/га без позакореневого підживлення або на 26–36 %. При цьому на фосфорно-калійній системі врожайність збільшувалась до 14,04 т/га або на 4 % порівняно з контролем. Застосування повного мінерального добрива збільшувало врожайність на 1–5 % порівняно з азотними системами удобрення.

Застосування препарату Брексіл™ Мікс одноразово та дворазово достовірно не збільшувало врожайності зерна кукурудзи. Так, урожайність збільшувалась до 11,75–16,10 т/га залежно від варіанту досліду або на 1–2 % порівняно з ділянками без позакореневого підживлення. При цьому описана тенденція зберігалась упродовж років проведення досліджень.

Вміст білка в зерні найбільше зростав від застосування азотних добрив. Так, вміст білка зростав від 6,7 до 8,2–9,0 % за внесення повного мінерального добрива. При цьому на фосфорно-калійній системі вміст білка був на рівні 6,5 %. Вміст білка коливався за роки проведення досліджень. У 2024 р. цей показник змінювався від 6,3 до 10,2 %, у 2023 р. – від 7,4 до 9,4, а в 2025 р. – від 6,5 до 7,5 % залежно від варіанту досліду.

Вміст азоту в зерні кукурудзи становить 1,02–1,23 %, калію – 0,28–0,36, фосфору – 0,18–0,24 %, магнію – 1110–1210 мг/кг, сірки – 903–851, мангану – 4,8–5,3, цинку – 11,0–13,6 мг/кг залежно від погодних умов на неудобрених ділянках. За внесення мінеральних добрив із азотною складовою ці показники становили відповідно – азоту – 1,18–1,70 %, калію – 0,28–0,33, фосфору – 0,18–0,23 %, магнію – 1080–1140 мг/кг, сірки – 1087–1296, мангану – 4,1–6,7, цинку – 10,2–13,1 мг/кг.

Вміст азоту в стеблах кукурудзи становить 0,23–0,27 %, калію – 1,13–1,18, фосфору – 0,11–0,14 %, магнію – 1352–1498 мг/кг, сірки – 201–225, мангану – 24,3–28,6, цинку – 4,2–5,1 мг/кг залежно від погодних умов на неудобрених ділянках. За внесення мінеральних добрив із азотною

складовою ці показники становили відповідно – азоту – 0,50–0,91 %, калію – 1,19–2,02, фосфору – 0,11–0,17 %, магнію – 2556–2941 мг/кг, сірки – 528–966, мангану – 31,5–59,1, цинку – 4,5–5,5 мг/кг.

Проведені дослідження показали, що особливості накопичення, розподілу та господарського винесення елементів живлення кукурудзою визначалися насамперед системою основного мінерального удобрення, погодними умовами року та характером взаємодії між окремими елементами. Позакореневе застосування Брексіл™ Мікс виконувало переважно коригувальну функцію, а його ефективність залежала від фонового забезпечення рослин елементами живлення. Вплив препарату був більш вираженим для магнію, цинку та мангану, менш стабільним – для калію, фосфору й сірки, і мінімальним щодо концентрації азоту в зерні.

Азотне живлення було визначальним чинником формування вмісту азоту та сірки, а також значною мірою впливало на накопичення магнію, цинку й мангану у вегетативній масі. Підвищення дози азоту до N_{160} збільшувало врожайність і біомасу рослин, унаслідок чого зростало господарське винесення більшості досліджуваних елементів навіть без їх безпосереднього внесення. Це свідчить про посилене використання ґрунтових запасів поживних речовин за інтенсивного азотного живлення та необхідність збалансованого удобрення.

Повне мінеральне удобрення $N_{160}P_{60}K_{110}$ переважно забезпечувало найвище загальне господарське винесення азоту, калію, фосфору, магнію та сірки. Такий результат був зумовлений поєднанням вищої продуктивності посіву, значної маси стебел і кращого забезпечення рослин основними елементами живлення. Водночас максимальні концентрації окремих мікроелементів не завжди формувалися на повному NPK-фоні, що вказує на складні синергічні й антагоністичні взаємодії між елементами та на можливий ефект розбавлення за зростання врожаю.

Розподіл елементів між зерном і стеблами мав чіткі видові особливості. Азот, фосфор, сірка та цинк у більшій концентрації

накопичувалися в зерні, хоча за високого рівня живлення частка їх винесення стеблами істотно зростала. Калій, магній і манган переважно зосереджувалися у вегетативній масі. Особливо виразним це було для калію та мангану, господарське винесення яких стеблами у декілька разів перевищувало винесення зерном. Отже, спосіб використання побічної продукції є важливим чинником балансу елементів у системі удобрення кукурудзи.

Залишення стебел на полі мало найбільше значення для повернення калію, магнію та мангану, оскільки основна частина цих елементів накопичувалася у вегетативній масі. За збирання лише зерна внесення K_{55}–K_{110} і P_{60}– P_{60} забезпечувало додатний баланс калію та фосфору. На фонах без відповідних добрив баланс залишався від'ємним, а підвищення рівня азотного живлення посилювало дефіцит унаслідок інтенсивнішого використання ґрунтових запасів. Баланс азоту був від'ємним у всіх досліджуваних варіантах, що вказує на значне винесення азоту врожаєм і необхідність урахування всіх джерел його надходження та втрат у системі удобрення.

Позакореневе застосування Брексіл™ Мікс неоднаково впливало на досліджувані елементи. Для азоту чіткої сталої зміни концентрації в зерні не встановлено. Для калію та фосфору препарат переважно підвищував уміст у зерні й господарське винесення, однак дворазове застосування не завжди мало перевагу над одноразовим. Найвиразніший і найпослідовніший ефект спостерігався для магнію та мангану, особливо щодо їх накопичення у стеблах і загального винесення. Для сірки реакція залежала від азотного фону, а для цинку була найбільш контрастною: на контролі, азотних і фосфорно-калійному фонах уміст цинку в зерні зростав, тоді як на комплексних NPK-фонах переважно знижувався.

Дворазове застосування Брексіл™ Мікс найчастіше перевищувало одноразове за показниками накопичення магнію, цинку та мангану у стеблах і за їх загальним господарським винесенням. Для макроелементів

така перевага була менш стабільною й залежала від року та фону мінерального живлення. Отже, збільшення кратності позакореневого підживлення не можна розглядати як універсальний чинник підвищення засвоєння всіх елементів; його доцільність має визначатися вихідним рівнем мінерального живлення та цільовим елементом.

Відмінності показників за роками досліджень підтвердили істотну роль погодних умов у доступності елементів, їх поглинанні, перерозподілі між органами та винесенні врожаєм. Найбільші відмінності між роками спостерігалися для вмісту калію, магнію, цинку та мангану, а також для господарського винесення елементів стебловою масою. Це свідчить про необхідність оцінювати ефективність систем удобрення не за одним роком, а за багаторічними результатами.

Для отримання високого прибутку та підтримання родючості чорнозему опідзоленого необхідно застосувати $N_{80}P_{30}K_{55}$ з позакореневим підживленням препаратом Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га. В агротехнології кукурудзи для отримання найбільшого прибутку можливе тимчасове застосування N_{160} з позакореневим підживленням препаратом Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га або без підживлення.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

В умовах Правобережного Лісостепу на чорноземі опідзоленому для отримання високого врожаю зерна кукурудзи з урахуванням економічної ефективності та балансу основних елементів живлення в ґрунті застосовувати $N_{80}P_{30}K_{55}$ з позакореневим підживленням препаратом Брексіл™ Мікс 1,5 л/га. В агротехнології кукурудзи для отримання найбільшого прибутку можливе тимчасове застосування N_{160} без позакореневого підживлення за умови залишення стеблиння на полі та вирощування після пшениці озимої в чотирипільній сівозміні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Arun Kumar M. A., Gali S. K., Hebsur N. S. Effect of Different Levels of NPK on Growth and Yield Parameters of Sweet Corn. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences.* 2007. Vol. 20 (1). P. 41–43.
2. Ayeni L. S., Adeleye E. O., Adejumo J. O. Comparative effect of organic, organomineral and mineral fertilizers on soil properties, nutrient uptake, growth and yield of maize (Zea mays). *International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science.* 2012. Vol. 2(11). pp. 493–497.
3. Balykin A., Shashkarov L., Mefodyev G., Semenov V. Theoretical description of the ligand function for ionoselective electrodes reversible to metal anion complexes. *Bull. Nat. Acad. Sci. Republ*. 2020. Vol. 2. Article number 384.
4. Bawa A. Yield and Growth Response of Maize (Zea mays L.) to Varietal and Nitrogen Application in the Guinea Savanna Agro-Ecology of Ghana. *Adv. Agric*. 2021. Vol. 2021. 1765251.
5. Bilan S., Gaina G., Vlasenko O., Sutyk O., Roiko Y. Methods for Automatically Determining the Level of Disease Damage to Plant Leaves from Their Raster Image. International Scientific Conference "Information Technology and Implementation" (IT&I-2023), Kyiv. P. 106–115.
6. Cantarella H., Otto R., Soares J. R. et al. Agronomic efficiency of NBPT as a urease inhibitor: *A review. Journal of Advanced Research*. 2018. № 13. P. 19–27. https://doi.org/10.1016/j.jare.2018.05.008
7. Chen P. et al. Carbon pathways in aggregates and density fractions in Mollisols under water and straw management: Evidence from C-13 natural abundance. Soil Biol. *Biochem.* 2022. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108684
8. Dai L,. Hu C., Wan J. H. et al. Effects of organic and inorganic compound fertilizers on yield and nutrient uptake and utilization of rice. *Soil Fertil. Sci.*

China. 2024. № 2. P. 111–119.

9. Deng J., Wu X., Bin S. et al. Dietary amylose and amylopectin ratio and resistant starch content affects plasma glucose, lactic acid, hormone levels and protein synthesis in splanchnic tissues. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition.* 2010. № 94(2). P. 220–226.
10. Deriglazova G., Gavrilova T. Formation of the leaf surface area of spring wheat in various cultivation technologies. BIO Web Conf. III International Scientific and Practical Conference “Problems and Prospects of Scientific and Innovative Support of the Agro-Industrial Complex of the Regions”. 2021. Vol. 32. Article number 02004.
11. Dilip K., Aditya N. Nutritional, Medical and Economic importance of Con: A mini review. *Research Journal of Pharmaceutical sciences*. 2013. Vol. 2(7). P. 7–8.
12. Fathi A. et al. Comparison of Corn Yield, Water Use Efficiency (WUE), and Growth under Different Tillage Systems and Fertilizer Inputs. 2023. *Agrisost.* 29. P. 1–9. https://doi.org/10.5281/zenodo.8319737
13. Goleva G., Vaschenko T., Kryukov T., Golev A. The role of flag leaves in the formation of plants productivity of winter soft wheat (*Triticum aestivum* L.). *Bull. Voronezh State Agrar. Univ*. 2016. Vol. 2(49). P. 155–162.
14. Grabovskyi M., Kucheruk P., Pavlichenko K. et al. Influence of macronutrients and micronutrients on maize hybrids for biogas production. *Environmental Science and Pollution Research*. 2023. № 30. pp.70022–70038.
15. Guo C., Liu X., He X. A global meta-analysis of crop yield and agricultural greenhouse gas emissions under nitrogen fertilizer application. *Sci. Total Environ*. 2022. Vol. 831. 154982.
16. Hutsol T., Ovcharuk O., Rudskyi V. et al. Prospects of use of nutrient remains of corn plants on biofuels and production technology of pellets and briquettes. In book: Renewable Energy Sources: Engineering, Technology, Innovation Springer International Publishing. 2019. P. 293–300. DOI

10.1007/978-3-030-13888-2_29.

17. Ismail N., Khiari L., Daoud R. Unveiling the Nutrient Signatures in Corn (*Zea mays* L.) Grains: A Pivotal Indicator of Yield Potential. *Agronomy*. 2025. Vol. 15. 597.
18. Ivaniuk V., Hnativ P., Olifir Yu. Influence of nitrogen fertilizers on the formation of corn grain yield and nitrogenuse efficiency. Bulletin of Lviv National Environmental University. *Series Agronomy*. 2022. № 26. P. 170–176. https://doi.org/10.31734/agronomy2022.26.170
19. Ivanyshyn O., Khomina V., Pantsyreva H.. Influence of fertilization on the formation of grain productivity in different-maturing maize hybrids. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021. № 11(3). pp. 262–269.
20. Jiang C., You Y., Lai X., Zhang Z., Gao W., Ma R., Yang X. Maximizing Food Equivalent Unit Yield for Forage Maize Production without Notably Compromising Dry Matter Yield and Feed Quality in a Semi-Arid Region. *Ind. Crops Prod*. 2024. Vol. 218. 118942.
21. Karbivska U., Myroniuk I., Degtyarjov V. et all. Effect of fertilizer application on yield and elemental composition of maize in the western region of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*. 2025. vol. 26, issue 12. P. 178–186.
22. Kasno A., Rivaie A. A., Tafakresnanto C. et al. Nitrogen dynamic and precise management to predict corn yield in tropical upland acid soils. *Global Journal of Environmental Science and Management*. 2024. 10 (4). P. 1843–1858. https://doi.org/10.22034/gjesm.2024.04.21
23. Kolisnyk O. et al. Influence of foliar feeding on the grain productivity of corn hybrids in the conditions of the Right-bank forest-steppe of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020. 10 (2). P. 40−44.
24. Kushwah N., Billore V., Sharma O.P., Singh D., Chauhan A.P.S. Integrated Nutrient management for optimal plant health and crop yield. *Plant Sci. Archit*. 2024. Vol. 8. P. 10–12.
25. Labaied M.B., Khiari L., Gallichand J., Kebede F., Kadri N., Ben Ammar

N., Ben Hmida F., Mimoun M. Ben Nutrient Diagnosis Norms for Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) in Tunisian Oases. *Agronomy*. 2020. Vol. 10. 886.

26. Li Y., Chen J., Drury C.F., Liebig M., Johnson J.M., Wang Z., Feng H., Abalos D. The role of conservation agriculture practices in mitigating N_2O emissions: A meta-analysis. Agron. *Sustain. Dev*. 2023. Vol. 43. 63.
27. Li Y.S., Chang C.Y., Wang Z.R., Qi G.H., Dong C., Zhao G.X. Upscaling remote sensing inversion model of wheat field cultivated land quality in the Huang-Huai-Hai agricultural region, China. *Remote Sens*. 2021. Vol. 13. Article number 5095.
28. Lykhovyd P. et al. Leaf area index of sweet corn (Zea mays ssp. saccharata L.) crops depending on cultivation technology in the drip-irrigated conditions of the south of Ukraine. *Modern Phytomorphology.* 2019. № 1–4, P. 166–184.
29. Mahmood M. et al. The impact of Maize (Zea mays L.) and it uses for human development: A review. International Journal of Scientific World, 2017, 5 (1), pp.93–95. ff10.14419/ijsw.v5i1.7585ff. ffhal-04605001f
30. Mahmood Y. A., Ahmed F. W., Mohammed I. Q. et al. Effect of organic, mineral fertilizers and foliar application of humic acid on growth and yield of corn (Zea mays L.). *Indian Journal of Ecology.* 2020. № 47(10). pp. 39–44.
31. Mansehaj Kaur Corn: A crop with multiple health benefits. *The Pharma Innovation Journal*. 2022. № 11(6). P. 1579–1582.
32. Mashchenko Yu. V., Sokolovska I. M., Kovalenko V. O. Biotechnological practices for growing corn for grain under different predecessors in the conditions of the Ukrainian steppe. *Подільський вісник.* Випуск 2 (43). 2024. С. 9–15. https://doi.org/10.37406/2706-9052-2024-2.112.
33. Mazur V. Kolisnyk O., Yakovets L. Dialial analysis of the combination capacity of resistance to diseases and pests of the source selection corn material. Сільське господарство та лісівництво. 2021. № 21. P. 233–244.

34. Miao Y., Mulla D. J., Robert P. C. Within-field variation in corn yield and grain quality responses to nitrogen fertilization and hybrid selection. *Agronomy Journal.* 2006. 98(1). P. 129–140. https://doi.org/10.2134/agronj2005.0120

35. Mokrienko V., Kornienko T. Formation of productivity of maize hybrids of different ripening groups in the Forest-Steppe region. Plant and Soil Science, 15(1), 52–62. DOI: https://doi.org/10.31548/plant1.2024.52

36. Narayan S. C., Rana M., Moharana D. Impact of water deficit stress in maize: phenology and yield components. Scientific Reports. 2020. Vol. 10 (2944). P. 1–15. DOI: 10.1038/s41598-020-59689-7.

37. Oktem A. G., Emeklier H. Y. Effect of nitrogen on yield and some quality parameters of sweet corn. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 2010. 41 (7). P. 832–847. https://doi.org/10.1080/00103621003592358

38. Owoyele B. V. et al. Analgesic and anti-inflammatory effect of aqueous extract of Zea mays husk in male Wistar rats. *J. Med. Food.* 2010. 13(2). P. 34–47.

39. Parent S.É., Parent L.E., Egozcue J.J., Rozane D.E., Hernandes A., Lapointe L., Hébert-Gentile V., Naess K., Marchand S., Lafond J., et al. The Plant Ionome Revisited by the Nutrient Balance Concept. *Front. Plant Sci*. 2013. Vol. 4. 39.

40. Pavithra S., Boeber C., Shah S.A. et al. Adoption of modern maize varieties in India: insights based on expert elicitation methodology. *Agricultural Research.* 2018. № 7(4). P. 391–401.

41. Rajičić V., Popović V., Perišić V., Biberdžić M., Jovović Z., Gudžić N., Mihailović V., Đurić N., Čolić V., Terzić D. Impact of nitrogen and phosphorus on grain yield in winter triticale grown on degraded vertisol. *Agronomy*. 2020. Vol. 10(6). 757.

42. Rouf Shah T., Prasad K., Kumar P. Maize – A potential source of human nutrition and health: A review. *Cogent Food & Agriculture.* 2016.

2(1):1166995

43. Selassie Y. G. The effect of N fertilizer rates on agronomic parameters, yield components and yields of maize grown on Alfisols of North-western Ethiopia. *Environmental Systems Research.* 2015. 4 (1). https://doi.org/10.1186/s40068-015-0048-8

44. Shakeel A., Hakoomat A., Atiqueur R., Rana J. Z. K., Waqas A., Zartash F., Ghulam A., Muhammad I., Hina A., Muhammad A. K., Mirza H. Measuring leaf area of winter cereals by different techniques: A comparison. *Pakistan J. Life & Soc. Sci*. 2015. Vol. 13(2). P. 258–264.

45. Shi T.S., Collins S.L., Yu K., Peñuelas J., Sardans J., Li H., Ye J.S. A global meta-analysis on the effects of organic and inorganic fertilization on grasslands and croplands. *Nat. Commun*. 2024. Vol. 15. 3411.

46. Sirisuntornlak N., Ullah H., Sonjaroon W., Arirob W., Anusontpornperm S., Datta A. Effect of Seed Priming with Silicon on Growth Yield and Nutrient Uptake of Maize under Water-Deficit Stress. *J. Plant Nutr*. 2021. Vol. 44. P. 1869–1885.

47. Sots S., Bnyiak O. Use of corn grain in production of food products. *Grain Products and Mixed Fodder's*. 2018. 18(2). https://doi.org/10.15673/gpmf.v18i2.969

48. Vaswani S., Kumar R., Kumar V. et al. Nutritional and mineral composition of different varieties of normal and high quality protein maize fodder at postcob stage. *International Journal of Science, Environment and Technology.* 2016. № 5(5). P. 2719–2727.

49. Wang Y., Wu P., Mei F., Ling Y., Qiao Y., Liu C., Leghari S.J., Guang X., Wang T. Does continuous straw returning keep China farmland soil organic carbon continued increase? A meta-analysis. *J. Environ. Manag*. 2021. Vol. 288. 112391.

50. Wasaya A. et al Soil physical properties, nitrogen uptake and grain quality of maize (Zea mays L.) as affected by tillage systems and nitrogen application. *Italian Journal of Agronomy*. 2018. Vol. 13. P. 324–331

51. Williams A., Hunter M.C., Kammerer M., Kane D.A., Jordan N.R., Mortensen D.A., Smith R.G., Snapp S., Davis A.S. Soil Water Holding Capacity Mitigates Downside Risk and Volatility in US Rainfed Maize: Time to Invest in Soil Organic Matter? *PLoS ONE*. 2016. Vol. 11. e0160974.

52. Xu, X., Liu, S., Meng, F., Zhang, X., Zhao, J., Qu, W., Shi, Y., Zhao, C. Grain Yield Formation and Nitrogen Utilization Efficiency of Different Winter Wheat Varieties under Rainfed Conditions in the Huang-Huai-Hai Plain. *Agronomy*. 2023. Vol. 13. Article number 915.

53. Young M.D., Ros G.H., de Vries W. Impacts of agronomic measures on crop soil and environmental indicators: A review and synthesis of meta-analysis. *Agric. Ecosyst. Environ*. 2021. Vol. 319. 107551.

54. Zhang F., Shen J., Zhang J., Zuo Y., Li L., Chen X. Rhizosphere processes and management for improving nutrient use efficiency and crop productivity: Implications for China. *Adv. Agron*. 2010. Vol. 107. P. 1–32.

55. Zhang L., Meng F., Zhang X., Gao Q., Yan L. Optimum management strategy for improving maize water productivity and partial factor productivity for nitrogen in China: A meta-analysis. *Agric. Water Manag*. 2024. Vol. 303. 109043.

56. Адаменко С., Костюшко І. Управління мінеральним живленням кукурудзи. *Зерно.* 2015. № 4(109). С. 112–113

57. Анішин Л. П. Особливості кукурудзи. Агроперспектива. 2007. № 5. С. 16–18.

58. Антал Т. В., Кісіль Т. В., Моренко Я. Ю. Якісні показники зерна кукурудзи залежно від удобрення та позакореневого підживлення. Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених і спеціалістів. 2025. С.13.

59. Асанішвілі Н. М., Корсун С. Г., Шляхтурова С. П. Якість зерна кукурудзи залежно від технології вирощування в північній частині Лісостепу. *Землеробство.* Випуск 1–2. 2014. С. 63–65.

60. Баган А. В., Улізько В. М. Вплив позакореневого підживлення на

урожайність середньостиглих гібридів кукурудзи (Zea mays L.). *Таврійський науковий вісник.* 204. № 140. С. 13–19.

61. Басюк П. Л., Грабовський М. Б. Вплив мікродобрив та регуляторів росту на зміну біометричних показників рослин кукурудзи. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво.* 2025. Вип. 78(1). С. 7–22. DOI:10.32636/01308521.2025-(78)-1-1
62. Бердніков О. М., Никитюк Ю. А. Роль сидерації в сучасномуземлеробстві. *Вісник аграрної науки.* 2004. № 3. С. 12–15.
63. Вахній С. П., Засуха А. А. Вплив добрив та регуляторів росту рослин на продуктивність основної і побічної продукції кукурудзи. *Таврійський науковий вісник.* 2024. № 137. С. 44–55. DOI https://doi.org/10.32782/2226–0099.2024.137.6
64. Вожегова Р. А., Котельников Д. І., Малярчук В. М. Біологічна активність на посівах кукурудзи за різних способів та глибини основного обробітку на фоні ор гано-мінеральних систем удобрення в умовах зрошення за півдня України. *Зрошуване землеробство*. 2019. Вип. 71. С. 180–184. DOI: https://doi.org/10.32848/0135 2369.2019.71.37
65. Вожегова Р. А., Малярчук А. С., Котельников Д. І. та інш. Продуктивність кукурудзи за мінімізованого обробітку ґрунту та органомінеральних систем удобрення на зрошенні Півдня України. *Аграрні інновації.* 2021. Вип. 5. С. 123–127
66. Вожегова Р., Влащук А., Дробіт О. Економічна ефективність вирощування гібридів кукурудзи в умовах зрошення Південного Степу України. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Серія: Агрономія*. 2018. Вип. 22 (1) С. 253–259.
67. Волкогон В. В., Надкернична О. В., Ковалевська Т. М. та ін. Мікробні препарати у землеробстві. *Теорія і практика.* 2006. № 63. К.: Аграрна наука. 311 с.
68. 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. *68*(1). С. 51–66. https://doi.org/10.32636/01308521.2020-(68)-1-4

69. Господаренко Г. М. Основи інтегрованого застосування добрив. Київ : Нічлава, 2002. 344 с.

70. Гангур В. В., Єремко Л. С., Руденко В. В. Вплив елементів технології вирощування на формування продуктивності гібридів кукурудзи різних груп стиглості. *Таврійський науковий вісник. 2021.* № 117. С. 37–43. https://doi.org/10.32851/2226–0099.2021.117.6

71. Гелетуха Г. Г., Желєзна Т. А., Трибой О. В. Перспективи вирощування та використання енергетичних культур в Україні. *Аналітична записка БАУ.* 2014. Вип. 10. С. 33. 52

72. Гетман Н. Я. Формування врожаю кукурудзи залежно від густоти стояння рослин за мінерального фону живлення. Сільське господарство та лісівництво. 2024. № 33. С. 55 – 65. DOI: 10.37128/2707-5826-2024-2-5.

73. Глива В. В., Гадзало А. Я., Герешко Г. С. та інш. Якість зерна гібридів кукурудзи різних груп стиглості залежно від норм внесення мінеральних добрив. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво.* 2022. 71(1). С. 66–79. https://doi.org/10.32636/01308521.2022-(71)-1-4

74. Гож О. А. Марченко Т. Ю., Котов Б. С. Вплив комплексних мікродобрив на основні біометричні параметри гібридів кукурудзи. Біологічні дослідження – 2014: зб. наук. праць V Всеукр. наук.-практ. коеф. молодих учених і студентів. Житомир: вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2004. С. 28–31.

75. Гож О. А., Лавриненко Ю. О., Марченко Т. Ю. Дослід науковців в практику аграріїв. *Аграрник.* 2014. № 2 (223). С. 22–23.

76. Городній М. М., Павлик Р. М. Вплив систематичного використання добрив в сівозміні на формування асиміляційного апарату посівів та

продуктивність кукурудзи на силос. *Науковий вісник національного університету біоресурсів і природокористування України*. Київ, 2010. № 149. С. 54–60

77. Господаренко Г. М. Система застосування добрив. Київ : ТОВ «ТРОПЕА», 2022. 376 с.
78. 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.
79. Господаренко Г. М. Практикум з агрохімії. Київ : ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2020. 148 с.
80. Господаренко Г. М., Любич В. В., Леонова К. П. Та інш. Вплив вапнування чорнозему опідзоленого та удобрення на врожайність кукурудзи. *Аграрні інновації.* 2022. (13) С. 35–39. DOI: 10.32848/agrar.innov.2022.13.5.
81. Господаренко Г. М., Прокопчук І. В., Бойк В. П. Засвоєння основних елементів живлення з ґрунту й мінеральних добрив кукурудзою. *Зб. наук. пр. Уманського НУС*. 2019. Вип. 95. Ч. 1. С. 76–89.
82. Господаренко Г. М., Черно О. Д., Підбуртний О. В. Урожайність кукурудзи залежить від вологозабезпеченості та удобрення у Правобережному Лісостепу. *Сільське господарство та рослинництво: теорія та практика*. 2024. № 2. С. 72–84. DOI: https://doi.org/10.54651/agri.2024.02.09.
83. Грабовський М. Б., Вахній С. П., Лозінський М. В. та інш. Зернова продуктивність гібридів кукурудзи залежно від застосування комплексних мінеральних добрив. *Збірник наукових праць «Агробіологія».* 2021. № 2. С. 33–42.
84. Грабовський М. Б., Грабовська Т. О., Городецький О. С. та інш. Формування продуктивності кукурудзи на силос залежно від фону мінерального живлення. *Зрошуване землеробство.* 2019. Вип. 71. С. 37–

40.

85. Гришко Т. О. Мінеральні добрива та їх вплив на кукурудзу. Харків: Основа. 2019. 295 с.

86. Довженко П. С. Технології вирощування гібридів кукурудзи. Львів: Світ. 2021. 320 с.

87. Доломанов О. М. Сучасні мікродобрива та інокулянти від ТОВ НВФ «Агро світ». *Зерно.* 2015. № 3(108). С. 194. – 195.

88. ДСТУ 4117:2007. Визначення показників якості методом інфрачервоної спектроскопії. [Чинний від 2007-08-09]. Київ, 2007. 7 с. (Національний стандарт України).

89. Дудка М. І., Якунін О. П., Ковтун О. В. та інш. Формуванняврожайності зерно кукурудзи залежно від макро- і мікродобрив. Зерновікультури. 2021. Том 5. № 1. С. 45–51.

90. Дудка М., Шевченко О. Мікродобрива й кукурудза. Farmer the Ukrainian. 2016. № 5 (77). С. 68–69.

91. Дудка Т. В. Доцільність отримання біоетанолу із зерна кукурудзи. Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин. 2012. Вип. 1. С. 44–47.

92. Єрмакова Л. М., Крестьянінов Є. В. Урожайність кукурудзи залежно від удобрення та гібриду на темно-сірих опідзолених ґрунтах. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2016. № 4. С. 63–65.

93. Єрмакова Л. М., Свистунов Ю. В., Формування врожаю та якості зерна кукурудзи залежно від удобрення в лівобережному лісостепу. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2016. № 4. С. 60–62.

94. Єщенко В. О., Копитко П. Г., Костогриз П. В., Опришко В. П. Основи наукових досліджень; за ред. В. О. Єщенка. Вінниця : ПП «ТД «Едельвейс і К», 2014. 332 с.

95. Жмура О., Андрієнко О. Удобрення гібридів кукурудзи. Сучасні техно логії агропромислового виробництва: матеріали І Міжнародної студентської науково-практичної інтернет-конференції. Кропивницький, 19 листопада 2020 р. 2020. С. 70–72.

96. Жуйков О. Г., Давиденко І. А. Позакореневе підживлення кукурудзи мікродобривами – дієвий елемент технології чи «тренд»? *Таврійський науковий вісник* № 136. Частина 1. С.116–124.

97. Засуха А. А. Зміна біометричних показників рослин кукурудзи залежно від застосування добрив та регуляторів росту росли. *Аграрні інновації.* 2023. № 22. С. 46–54. DOI https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.22.8

98. Засуха А. А., Вахній С. П. Особливості формування урожайності, якісних показників зерна і побічної продукції кукурудзи та розрахунковий вихід паливних пелет залежно від елементів технології вирощування. *Аграрні інновації.* 2024. № 26. С. 41–52. DOI https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.26.6

99. Захарченко Е. А. Ефективність застосування цинку при вирощуванні кукурудзи на зерно. *Вісник Сумського НАУ.* 2019. Вип. 4. С. 8–14.

100. Інтенсифікація технологій вирощування кукурудзи на зерно – гарантія стабілізації урожайності на рівні 90–100 ц/га: практичні рекомендації. *Державна установа Інститут сільського господарства степової зони.* Дніпропетровськ. 2012. 88 с.

101. Каленська С. М., Говенько Р. В. Вплив позакореневих підживлень на формування урожайності зерна кукурудзи в лівобережному Лісостепу України. V Міжнародна науково-практична конференція, присвячена 100-річчю від дня заснування ВСП «Мукачівський фаховий коледж НУБіП України» «Інновації в освіті, науці та виробництві», м. Київ, 24–26 листопада 2021 року, С. 46–47.

102. Каленська С. М., Говенько Р. В. Продуктивність кукурудзи залежно від забезпечення тепловими одиницями та живлення різними видами азотних добрив. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2022. № (30). С. 33–43. https://doi.org/10.47414/np.30.2022.268943

103. Каленська С. М., Таран В. Г. Індекс урожайності гібридів кукурудзи

залежно від густоти стояння рослин, норм добрив та погодних умов вирощування. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2018. № 4. С. 415–421.

104. Каленська С. М., Таран В. Г., Данилів П. О. Особливості формування уро жайності гібридів кукурудзи залежно від удобрення, густоти стояння рослин та погодних умов. *Таврійський науковий вісник.* 2018. № 101. С. 42–49.

105. Калетнік Г. М. та інш. Перспективи використання кукурудзи для енергоефективного та екологобезпечного розвитку сільських територій: монографія. Вінниця: ФОП Кушнір Ю. В. 2021. 260 с.

106. Калетнік Г. М., Паламарчук В. Д., Гончарук І. В. та інш. Перспективи використання кукурудзи для енергоефективного та екологобезпечного розвитку сільських територій: монографія. Вінниця: ФОП Кушнір Ю. В. 2021. 260 с.

107. Камінський В. Ф. Науково-методичні основи дослідження з розробкитехнологій вирощування сільськогосподарських культур. Збірник наукових праць Нац.наук. центру «Ін-т землеробства НААН». 2013. Вип. 1/2. С. 3–9.

108. Камінський В. Ф., Асанішвілі Н. М. Формування якості зерна кукурудзи різних напрямів використання залежно від технології вирощування в Лі состепу. Корми і кормовиробництво. 2020. № 89. С. 74–84. DOI: 10.31073/ kormovyrobnytstvo202089–07

109. Кернасюк Ю. Ринок кукурудзи: основні тренди. Агробізнес сьогодні. К.: Імпрес-контакт. 2018. № 19 (жовт.). С. 12–14.

110. Коваленко П. А. Аналіз впливу густоти стояння на динаміку формування врожаю кукурудзи. *Агроінновації.* Том 9. № 2. 2021. С.76–89.

111. 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.

112. Ласло О. О., Олепір Р. В. Ефективність комплексного удобрення в технології вирощування кукурудзи. *Український журнал природничих наук.* 2025. № 11. С.170–171. DOI: https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.18

113. Лен О. І, Марініч Л. Г., Орловський О. В. Продуктивність кукурудзі залежно від погодних умов та системаудобреня. *SWorldJournal.* № 21. 2023. С. 22–29.

114. Лень О. І., Тоцький В. М., Гангур В. В. та інш. Вплив системи удобрення та основного обробітку ґрунту на продуктивність гібридів кукурудзи. *Scientific Progress & Innovations.* 2021. № (2). С. 52–58.

115. Лихочвор В., Петриченко В. Мінеральні добрива та їх застосування. 2-ге видання, доповн. і виправл. Львів: НВФ «Українські технології». 2012. 324 с.

116. Ліхочвор В. В. Рослинництво. Технології вирощуваннясільськогосподарських культур. Київ. 2004. 808 с.

117. Любич В. В., Сутик О. В. Індекси продуктивності рослин кукурудзи за різних способів внесення добрив. Аграрні інновації. 2025. № 34. С. 112–116. 10.32848/agrar.innov.2025.34.15

118. Любич В. В., Сутик О. В. Урожайність і вміст білка в зерні кукурудзи за різних способів удобрення. Таврійський науковий вісник. 2026. № 147, ч. 2. С. 24–30. doi.org/10.32782/2226–0099.2026.147.2.3

119. Любич В. В. Розвиток бурої іржі та продуктивність тритикале озимого із застосуванням біофунгіциду на тлі різних доз азотних добрив. *Збірник Уманського національного університету садівництва*. 2023. Вип. 103. С. 53–69.

120. Любич В. В. Розвиток бурої іржі та продуктивність тритикале озимого із застосуванням біофунгіциду на тлі різних доз азотних добрив. *Збірник Уманського національного університету садівництва*. 2023. Вип. 103. С. 53–69.

121. Любич В. В. Технологічні параметри виробництва зерна тритикале ярого, вирощеного за різних доз азотних добрив. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2023. № 2. С. 109–116.

122. Любич В. В. Технологічні параметри виробництва зерна тритикале ярого, вирощеного за різних доз азотних добрив. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2023. № 2. С. 109–116.

123. Любич В. В. Технологічні параметри формування якості зерна різних сортів пшениці м’якої озимої. *Збірник Уманського національного університету*. 2025. Вип. 106, Ч. 1. С. 162–178.

124. Любич В. В. Фізичні властивості зерна та білково-протеїназний комплекс тритикале ярого за різних доз азотних добрив. *Збірник Уманського національного університету садівництва*. 2023. Вип. 102. С. 142–154.

125. Любич В. В. Фізичні властивості зерна та білково-протеїназний комплекс тритикале ярого за різних доз азотних добрив. *Збірник Уманського національного університету садівництва*. 2023. Вип. 102. С. 142–154.

126. Любич В. В. Формування продуктивності пшениці м’якої озимої залежно від застосування регуляторів росту. *Новітні агротехнології*. 2022. Т. 10, № 1. https://doi.org/10.47414/na.10.1.2022.264385.

127. Любич В. В. Формування продуктивності різних гібридів кукурудзи. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. 2020. Вип. 97. С. 32–44.

128. Любич В. В., Моргун А. В. Агробіологічні параметри різних культиварів сорго цукрового за різних технологічних заходів. *Таврійський науковий вісник*. 2024. № 139. С. 127–134.

129. Любич В. В., Остапчук В. В. Формування продуктивності тритикале озимого різних доз азотних добрив, позакореневого підживлення та сеникації. *Збірник Уманського національного університету*. 2025. Вип. 106, Ч. 1. С. 10–18.

130. Любич В. В., Остапчук В. В. Формування продуктивності тритикале озимого різних доз азотних добрив, позакореневого підживлення та сеникації. *Збірник Уманського національного університету*. 2025. Вип. 106, Ч. 1. С. 10–18.

131. Любич В. В., Стоцький О. В. Формування вмісту та виходу олії з насіння соняшнику за різних технологічних заходів. *Збірник Уманського національного університету*. 2025. Вип. 106, Ч. 1. С. 126–133.

132. Любич В. В., Стратуца Я. С. Урожайність та якість зерна тритикале озимого за різних видів і доз добрив. *Збірник Уманського національного університету*. 2025. Вип. 106, Ч. 1. С. 554–553.

133. Любич В. В., Стратуца Я. С. Урожайність та якість зерна тритикале озимого за різних видів і доз добрив. *Збірник Уманського національного університету*. 2025. Вип. 106, Ч. 1. С. 554–553.

134. Любич В. В., Стратуца Я. С. Урожайність та якість зерна тритикале озимого за різних видів і доз добрив. *Збірник Уманського національного університету*. 2025. Вип. 106, Ч. 1. С. 554–553.

135. Любич В. В., Сутик О. В. Вміст елементів живлення в зерні кукурудзи залежно від способів внесення добрив. Збірник наукових праць Уманського національного університету. 2025. Вип. 107. Ч. 1. С. 10–19. 10.32782/2415-8240-2025-107-1-10-19

136. Любич В. В., Сутик О. В. Значення різних видів і доз добрив у формуванні стабільного врожаю зерна кукурудзи. «Наукове забезпечення виробництва конкурентоспроможної сільськогосподарської продукції в умовах формування екологічностійких агроландшафтів»: збірник тез міжнародної інтернет-конференції, 17 червня 2025 р. Умань, 2025. С. 187–190.

137. Любич В. В., Сутик О. В. Продуктивність кукурудзи за різних способів удобрення. Наукові засади підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва: матеріали IX Міжнар. наук.-практ. конф., 28 листопада 2025 р. Держ. біотехнологічний ун-т. Харків, 2025.

С. 237–238.

138. Ляхно А. Ю. Врожайність і якість зерна кукурудзи залежно від форм азотних добрив. *Scientific Progress & Innovations*. 2025. № 28 (1). С. 43–49. https://doi.org/10.31210/spi2025.28.01.08

139. Мазур В. А., Шевченко Н. В. Формування площі листкової поверхні рослин гібридів кукурудзи залежно від технологічних прийомів вирощування. *Біоресурси і природокористування.* 2018. Т. 10, № 1/2. С. 108–114. http://dx.doi.org/10.31548/bio2018.01.014.

140. Мазур В. А., Паламарчук В. Д., Поліщук І. С. та інш. Новітні агротехнології у рослинництві: Підручник. Вінниця. 2017. 588 с.

141. Мазур В. А., Циганська О. І., Шевченко Н. В. Висота рослин кукурудзи залежно від технологічних прийомів вирощування. *Сільське господарство та лісівництво.* 2018. Вип. 8. С. 5–13. 6.

142. Маренич М. М., Капленко В. О., Коба К. В. та інш. особливості управління врожайністю кукурудзи в умовах нестійкого зволоження. *Вісник Полтавської державної аграрної академії.* 2019. № 4. С. 43–50. https://doi.org/10.31210/visnyk2019.04.05

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. Мілютенко Т. Б. Оптимізація поживного режиму ґрунту в агрофітоценозі кукурудзи. *Збалансоване природокористування.* 2014. № 2. С. 81–87.

146. Молдован В. Г., Молдован Ж. А. Ефективність використання азотних добрив у прикореневому підживленні кукурудзи. *Зернові культури.*

2021. Т. 5. № 2. С. 329–335. DOI: https://doi.org/10.31867/2523–4544/0192 167

147. Молдован Ж. А. Собчук С. І. Вплив допосівної обробки насіння та позакореневого підживлення посівів кукурудзи на індивідуальну продуктивність рослин і урожайність зерна. *Зернові культури.* 2020. Т. 4. № 1. С. 130–138. Doi: https://doi.org/10.31867/2523–4544/0116

148. Морозов О. В., Біднина І. О., Козирєв В. В. та інш. Сучасний стан та перспективи вирощування кукурудзи на силос і зелений корм в умовах зрошення півдня України. *Зрошуване землеробство*. 2016. Вип. 66. С. 42–48.

149. Осипчук С. О. Природно-сільськогосподарське районування України. Київ: Урожай, 2008.

150. Офіційний каталог гібридів DEKALB компанії Bayer Crop Science посилання https://www.cropscience.bayer.ua/products/dekalb/corn.

151. Павліченко К. В. Формування елементів структури врожаю гібридами кукурудзи на силос під впливом макро- і мікродобрив. *Аграрні інновації.* 2022. № 12. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.12.12

152. Павліченко К. В., Грабовський М. Б. Урожайність зеленої і сухої маси гібридів кукурудзи та вихід біогазу залежно від застосування макро- і мікродобрив. *Зрошуване землеробство*. 2022. Вип. 77. С. 79–85.

153. Паламарчук В. Д., Азуркін В. О. Підживлення кукурудзи. Farmer the Ukrainian. 2016. № 6(78), червень. С. 63.

154. Паламарчук В. Д., Дідур І. М., Колісник О. М. та інш. Аспекти сучасної технології вирощування висококрохмальної кукурудзи в умовах Лісостепу правобережного. Вінниця: Видавництво «Друк». 2020. 536 с.

155. Паламарчук В. Д., Колісник О. М. Сучасна технологія вирощування кукурудзи для енергоефективного та екологобезпечного розвитку сільських територій: монографія. Вінниця: ТОВ Друк, 2022. 372 с.

156. Паламарчук В. Д., Мазур В. А., Зозуля О. Л. Кукурудза. Селекція та вирощування гібридів: монографія. Вінниця, 2009. 199 с.

157. Паламарчук В. Д., Паламарчук О. Д. Перспективи вирощування та використання кукурудзи для отримання біопалива. *Збірник наукових праць ВНАУ. Серія: Сільськогосподарські науки.* 2011. Вип. 8(48). Вінниця. С. 13–21.

158. Паламарчук В. Д., Телекало Н. В. Перспективи вирощування кукурудзи на зерно для отримання біоетанолу. Сільське господарство та лісівництво. 2021. № 21. С. 47–61.

159. Паламарчук Д. В. Науково-теоретичне обґрунтування технології вирощування т адаптивності гібридів кукурудзи для виробництва біоетанолу в умовах Лісостепу правобережного : автореф. на здобуття вченого ступеня д-ра. с.-г. наук за спеціальністю: 06.01.09 «Рослинництво». Кам'янецьПодільський. 2020. 44 с.

160. Пасічник Н. А., Степанко А. В. Калійне живлення рослин кукурудзи за різних систем застосування добрив. *Рослинництво та ґрунтознавство*. 2016. № 235. С. 204–209.

161. Пастернак О. Перспективи кукурудзи в Україні. Агробізнес сьогодні. К. 2015. № 7 (23.). С. 24–29.

162. Пащенко Ю. М., Борисов В. М., Шишкін О. Ю. Адаптивні і ресурсозбережні технології вирощування гібридів кукурудзи. Дніпропетровськ: АРТ-ПРЕС, 2009. 224 с.

163. Пелех Л. В. Формування продуктивності кукурудзи залежно від обробки стимуляторами росту рослин в умовах Правобережного Лісостепу. *Сільське господарство та лісівництво.* 2017. Вип. 5. С. 54–61.

164. Петрина Г. І., Рудавська Н. М., Глива В. В. та інш. Особливості росту й розвитку нових гібридів кукурудзи в умовах Західного Лісостепу. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2013. № . 55 (2). С. 93–98.

165. Петриченко В. Ф., Лихочвор В. В. Рослинництво. Нові технології вирощування польових культур: підручник. 5-те, виправ., доповн. Львів: НВФ «Українські технології», 2020. 806 с.

166. Поліщук М. І., Паламарчук О. Д. Вплив позакореневих підживлень на продуктивність гібридів кукурудзи. *Сільське господарство та лісівництво.* 2016. № .4. С. 102–109.

167. Полупан М. І., Соловей В. Б., Величко В. А. Класифікація ґрунтів України. Київ : Аграрна наука, 2005

168. Полупан М. І., Соловей В. Б., Кисіль В. І., Величко В. А. Визначник еколого-генетичного статусу та родючості ґрунтів України. Київ : Колообіг, 2005

169. Польовий А. М., Божко Л. Ю. Довгострокові агрометеорологічні прогнози. Одеса : Видавництво «ТЕС», 2013.

170. Приходько В. О., Полторецький С. П., Полторецька Н. М. та ін. Агрокліматичне обґрунтування технології вирощування змішаних посівів кукурудзи з високобілковими культурами на силос: монографія. За ред. С. П. Полторецького. Умань: Видавець «Сочінський М. М.», 2021. 220 с.

171. Рибачок В. В. Продуктивність кукурудзи залежно від впливу сучасних біопрепаратів та мікробіологічних добрив в умовах Лісостепу Правобережного. *Сільське господарство та лісівництво.* 2018. Вип. 11. С. 132–141.

172. Романюк В. В., Романюк О. М. Рослинництво: навч.-метод. посібник. укл.:. Чернівці: Чернівец. нац. університет ім. Ю. Федьковича, 2025. 96 с.

173. Рудавська Н. М., Глива В. В. Формування продуктивності гібридів кукурудзи в умовах Лісостепу Західного. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво.* 2018. Вип. 64. С. 120–132.

174. 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

175. Саверин І. В., Качмар О. Й., Продуктивність кукурудзи за різних систем удобрення в короткоротаційних сівозмінах. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво.* 2023. Вип. 73 (2). С. 91–109. https://doi.org/10.32636/01308521.2025-(78)-2-6

176. Сенчина Ю. Кормова цінність гібридів кукурудзи в Карпатському регіоні. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2025. *78*(2). С. 63–72.

177. Системні фактори регулювання зернової продуктивності кукурудзи в різноротаційних сівозмінах степової зони / Л. М. Десятник та ін. Зернові культури. 2019. Т. 3, № 1. С. 37–44. DOI: 10.31867/2523–4544/0058.

178. Склянчук В. М., Науменко М. Д. Вплив елементів біологізаціїземлеробства на врожайність сільськогосподарських культура у Західному Поліссі. *Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства УААН» (спецвипуск)*. Київ :ЕКМО, 2006. С. 112–118.

179. Созінов О. А. та ін. Агросфера як провідний фактор сталого розвитку України. *Вісник аграрної науки.* 2005. № 10. С. 5–13.

180. Стаціонарні польові досліди України. Реєстр атестатів. Київ : Аграрна наука, 2014. 146 с.

181. Сухомуд О. Г., Адаменко Д. М., Кравець І. С. та інш. Вплив застосуван ня мікродобрив ТМ «АКТИВ ХАРВЕСТ» на ріст, розвиток і врожайність рослин кукурудзи. *Збірник наукових праць Уманського національного університету са дівництва*. Умань. 2019. Вип. 94. С. 156–164. DOI: 10.31395/2415-8240-2019-94 1-156-164

182. Ткаліч Ю. І., Цилюрик О. І., Козечко В. І. Оптимізація застосування мікро добрив та регуляторів росту рослин у посівах кукурудзи Північного Степу України. *Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету*. Дніпро: Свідлер А. Л., 2017. № 4 (46). С. 20–25.

183. Трубілов О. В. Зернова продуктивність гібридів кукурудзи залежно

від способів обробітку ґрунту і мінерального живлення. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України*. 2012. № . 3. С. 114–117.

184. Філоненко С. В., Попов О. О. Аналіз ефективності позакореневого внесен ня мікроелементів на посівах кукурудзи. Інновації управління продуктивністю та поліпшення якості зерна пшениці озимої: матеріали Всеукраїнської науково-прак тичної інтернет-конференції, присвяченої пам'яті професора Г. П. Жемели. Полтава, 30 вересня 2021 р. 2021. С. 109–112.

185. Циков В. С. та ін. Ефективність застосування макро- і мікродобрив при вирощуванні кукурудзи. *Зернові культури*. 2017. Т. 1, № 1. С. 75–79.

186. Циков В. С., Дудка М. І., Шевченко О. М. Ефективність позакореневого підживлення кукурудзи мікроелементними препаратами сумісно з азотним мінеральним добривом. *Бюлетень ІЗГ степової зони НААН України*. 2016. № 11. С. 23–27.

187. Цилюрик О. І., Десятник Л. М., Березовський С. В. Забур'яненість агроценозів кукурудзи під впливом обробітку ґрунту та удобрення в Північному Степу України. *Зернові культури.* 2020. Т. 4. № 1. С. 152–159. DOI: https://doi.org/10.31867/2523–4544/0119.

188. Чайка Т. О., Короткова І. В., Лотіш І. І. Особливості вирощування кукурудзі методамиорганічного сільського господарства. *Матеріали Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф.* (м. Полтава, 30 вересня+63 2024 р.). Полтава :ПДАУ. С. 184–186.

189. Шевченко Л. А., Чмель О. П., Хоменко С. В. Вплив мікродобрив та рістрегуляторів на продуктивність гібридів кукурудзи в умовах півночі України.Аграрні інновації. 2020. № 4. С.73–78.

190. Шевченко Н. В. Урожайність зерна кукурудзи залежно від обробки насіння та позакореневих підживлень. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2018. Вип. 3 (73). URL: http://journals.nubip.edu.ua/index.php /Dopovidi/article /view/10820/9463.

191. Шинкарук Л. Вплив макро- і мікродобрив на врожайність кукурудзи. *Вісник ЛНАУ: Агрономія.* 2021. № 25. С. 162–166. DOI: https://doi.org/10.31734/ agronomy2021.01.16

192. Шинкарук Л. М. Вплив макро-і мікродобрив на врожайність кукурудзи. Вісник Львівського національного аграрного університету.Серія: агрономія. 2021. № 25. С.162–166.

193. Шинкарук Л. М. Вплив макро-і мікродобрив на врожайність кукурудзи. Вісник Львівського національного аграрного університету.Серія: агрономія. 2021. № 25. С.162–166.

194. Юрченко С. О., Шакалій С. М., Баган А. В. та інш. Формування біометричних показників та рівня врожайності гібридів кукурудзи за групами стиглості. *Зрошуване землеробство*. 2022. № 77. С. 5–8. https://doi.org/10.32848/0135–2369.2022.77.1.

195. Юрченко С. О., Шакалій С. М., Баган А. В. Формування продуктивного потенціалу гібридів кукурудзи за групами стиглості. *Аграрні інновації.* 2022. № 113. С. 7–11. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.13.1.

196. Яковець Л.А. Зміна вмісту важких металів при досушці зерна кукурудзи. Сільське господарство та лісівництво. 2018. № . 11. С. 152–161

197. Якунін О. П., Заверталюк В. Ф., Губар О. В. [та ін.] Кукурудза харчова (технологічні аспекти вирощування): монографія; за ред. О. П. Якуніна. – Вінниця, ТОВ «Нілан-ЛТД», 2016. 208 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Акти впровадження результаті досліджень у виробництво

«ПОГОДЖЕНО»
В. о. ректора Уманського національного університету
Олена ЯРОШИНСЬКА
«14» 09 2026

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Директор ТОВ «УКРАГРОКОМ»
Іван КУЗЬМЕНКО
«14» 09 2026

АКТ
ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ РОБОТИ

Цим актом стверджується, що результати наукової роботи за темою «Вплив позакореневого підживлення мікроелементами на засвоєння азоту кукурудзою на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу України», виконаної в Уманському національному університеті, впроваджено в технологічному процесі підприємства.

1. **Вид запровадження** – застосування удосконаленої системи удобрення кукурудзи.
2. **Характеристика масштабів впровадження** – розроблену систему удобрення кукурудзи впроваджено на площі 120 га.
3. **Новизна результатів науково-дослідної роботи** – впроваджено науково-обґрунтовану систему удобрення, яка включає внесення $N_{80}P_{30}K_{55}$ з позакореневим підживленням препаратом Брексіл™ Мікс 1,5 кг/га.
4. **Економічна ефективність** – 68,2 тис. грн/га у цінах 2026 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 Олександр СУТИК

«ПОГОДЖЕНО»

В. о. ректора Уманського національного університету

Олена ЯРОШИНСЬКА

«18» 09 2026

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор ФГ «ГВМ-АГРО»

Олександр ВОРОТНИЙ

«18» 09 2026

АКТ
ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ РОБОТИ

Цим актом стверджується, що результати наукової роботи за темою «Вплив позакореневого підживлення мікроелементами на засвоєння азоту кукурудзою на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу України», виконаної в Уманському національному університеті, впроваджено в технологічному процесі підприємства.

1. **Вид запровадження** – застосування удосконаленої системи удобрення кукурудзи.
2. **Характеристика масштабів впровадження** – розроблену систему удобрення кукурудзи впроваджено на площі 180 га.
3. **Новизна результатів науково-дослідної роботи** – впроваджено науково-обґрунтовану систему удобрення, яка включає внесення N_{160} в осінньо-зимовий період.
4. **Економічна ефективність** – 71,1 тис. грн/га у цінах 2026 р.
5. **Соціальний і науково-технічний ефект** – запропонована система удобрення забезпечила стабільніший приріст урожаю зерна та високу економічну ефективність.

Аспірант кафедри
агрохімії і ґрунтознавства
Уманського національного
університету

Олександр СУТИК

Додаток Б

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Сутика Олександра Васильовича

Статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України

1. Любич В. В., Сутик О. В. Вміст елементів живлення в зерні кукурудзи залежно від способів внесення добрив. Збірник наукових праць Уманського національного університету. 2025. Вип. 107. Ч. 1. С. 10–19. 10.32782/2415-8240-2025-107-1-10-19. *(проведення експерименту, аналіз даних – частка участі 65 %)*.

2. Любич В. В., Сутик О. В. Індекси продуктивності рослин кукурудзи за різних способів внесення добрив. Аграрні інновації. 2025. № 34. С. 112–116. 10.32848/agrar.innov.2025.34.15. *(участь в експерименті, готування до друку – частка участі 65 %)*.

3. Любич В. В., Сутик О. В. Урожайність і вміст білка в зерні кукурудзи за різних способів удобрення. Таврійський науковий вісник. 2026. №147, ч. 2. С. 24–30. doi.org/10.32782/2226-0099.2026.147.2.3. *(участь в проведенні експерименту, оформлення тексту – частка участі 65 %)*.

Матеріали науково-практичних конференцій

4. Любич В. В., Сутик О. В. Значення різних видів і доз добрив у формуванні стабільного врожаю зерна кукурудзи. «Наукове забезпечення виробництва конкурентоспроможної сільськогосподарської продукції в умовах формування екологічностійких агроландшафтів»: збірник тез міжнародної інтернет-конференції, 17 червня 2025 р. Умань, 2025. С. 187–190. *(ведення досліду, оформлення тез – частка участі 65 %)*.

5. Любич В. В., Сутик О. В. Продуктивність кукурудзи за різних способів удобрення. Наукові засади підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва: матеріали IX Міжнар. наук.-практ. конф., 28 листопада 2025 р. Держ. біотехнологічний ун-т. Харків, 2025. С.

237–238. *(участь в проведенні експерименту, оформлення тексту – частка участі 65 %)*.

6. Bilan S., Gaina G., Vlasenko O., Sutyk O., Roiko Y. Methods for Automatically Determining the Level of Disease Damage to Plant Leaves from Their Raster Image. International Scientific Conference "Information Technology and Implementation" (IT&I-2023), Kyiv. P. 106–115. *(проведення досліджень, готування до друку тез – частка участі 55 %)*.