

УДК 633.15:631.8:581.175.3

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.148.1.21>

## ВПЛИВ МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ ТА АЗОТФІКСАТОРА НА ВМІСТ ХЛОРОФІЛУ В ЛИСТКАХ ТА УРОЖАЙНІСТЬ КУКУРУДЗИ

**Довгеля О.М.** – к.с.-г.н., докторант,  
Інститут водних проблем і меліорації  
[orcid.org/0009-0006-7000-0358](https://orcid.org/0009-0006-7000-0358)

**Антоненко О.О.** – аспірант кафедри рослинництва,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України  
[orcid.org/0009-0005-5488-896X](https://orcid.org/0009-0005-5488-896X)

За сучасних умов аграрного виробництва зростає потреба у пошуку нових шляхів для удосконалення існуючих технологій вирощування кукурудзи та оптимізації системи її удобрення. Актуальним є дослідження застосування біопрепаратів, зокрема азотфіксаторів, які дозволяють зменшити використання мінеральних добрив і водночас підвищити урожайність кукурудзи. Метою дослідження було визначення впливу різних норм мінерального живлення у поєднанні із застосуванням біопрепарату азотфіксатора на вміст хлорофілу в листках рослин та продуктивність посівів кукурудзи в агроecологічних умовах Центрального Лісостепу України. Польові дослідження проведено впродовж 2023-2025 рр. в ґрунтово-кліматичних умовах господарства в Київській області на посівах кукурудзи гібриду Р8436АQ (ФАО 260). Розмір дослідної ділянки був 33 м<sup>2</sup>, повторність 4-кратна, розміщення ділянок послідовне багаторядне. Використання біологічного препарату азотфіксатора в системі удобрення кукурудзи у поєднанні з мінеральними добривами позитивно впливало на кількість хлорофілу в листках рослин. За застосування лише підживлення рослин кукурудзи мінеральними добривами, залежно від норм їх внесення, відмічено збільшення кількості умовних одиниць хлорофілу у листках кукурудзи на 1,6-7,3%, порівняно із контролем (без добрив). Разом з тим, додавання біопрепарату призводило до підвищення вмісту хлорофілу у листках кукурудзи на 2,8-5,5%, порівняно із контролем (без добрив + азотфіксатор). Визначено вплив оптимізації системи удобрення на продуктивність рослин кукурудзи за рахунок застосування біопрепарату у поєднанні із мінеральними добривами за різних норм їх внесення. Загалом, за застосування лише мінеральних добрив одержано урожайність зерна кукурудзи на 15,6-24,9 % вищу, порівняно з контролем. У варіантах із застосуванням мінеральних добрив у поєднанні з біопрепаратом одержано урожайність зерна кукурудзи на 13,7-23,2 % вищу, ніж на відповідному контролі. Найбільшу урожайність, яка сягала 14,0 т/га, отримано у варіанті N<sub>150</sub>P<sub>120</sub>K<sub>120</sub> + азотфіксатор. При застосуванні біопрепарату у поєднанні з мінеральними добривами одержано на 5,8% або 0,71 т/га вищу урожайність зерна культури, ніж у варіантах без його внесення.

**Ключові слова:** біопрепарат, азотфіксатор, кількість хлорофілу, мінеральні добрива, урожайність зерна.

### **Dovhelia O.M., Antonenko O.O. The effect of mineral nutrition and nitrogen fixer on the chlorophyll content in leaves of maize and its yield**

Under modern conditions of agricultural production, there is a growing need to find new ways to improve existing technologies for growing maize and optimize its fertilization system. Research into the use of biological products, in particular nitrogen fixers, which reduce the use of mineral fertilizers and at the same time increase maize yield is relevant. This study aimed to determine the effects of different fertilisation strategies in combination with the use of a biological product of a nitrogen fixer on the chlorophyll content in plant leaves and the yield of maize under the agroecological conditions of the Central Forest-Steppe of Ukraine. Field experiments were



© Довгеля О.М., Антоненко О.О., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

conducted during 2023-2025 under the soil and climatic conditions of a farm in the Kyiv Region, using the maize hybrid P8436AQ (FAO 260). The area of each experimental plot was 33 m<sup>2</sup>, with four replications and a sequential multilevel arrangement. The application of a nitrogen-fixing biological agent in combination with mineral fertilisers had a positive effect on the amount of chlorophyll in plant leaves. The use of only fertilizing maize plants with mineral fertilizers, depending on the rate of their application, significantly increases the number of chlorophyll conventional units in plant leaves by 1.6-7.3%, compare to the control (without fertilizers). At the same time, the application of a biological preparation led to an increase in the chlorophyll content in maize leaves by 2.8-5.5%, compare to the control (without fertilizers + nitrogen fixer). An evaluation was carried out to determine the effectiveness and impact of optimising the fertilisation system on productivity of maize plants through the use of a biological preparation in combination with mineral fertilisers at various application rates. Overall, the application of mineral fertilisers alone resulted in a 15.6-24.9% increase in grain yield compared to the control. In treatments combining mineral fertilisers with the biological agent, grain yield was 13.7-23.2% higher than in the corresponding control variants. The highest average grain yield, amounting to 14.0 t/ha, was achieved with the N<sub>150</sub>P<sub>120</sub>K<sub>120</sub> + nitrogen-fixing agent treatment. The application of the biological preparation in combination with mineral fertilisers produced a 5.8% (or 0.71 t/ha) higher grain yield compared to treatments without the biological agent.

**Key words:** biological preparation, nitrogen fixer, amount of chlorophyll, mineral fertilisers, grain yield.

**Постановка проблеми.** Кукурудзу (*Zea mays* L.) вирощують у більшості країн світу, при цьому майже половина світового виробництва припадає на США і Китай [1], які є найбільшими споживачами та виробниками продуктів переробки цієї культури. Валовий збір зерна кукурудзи в Україні становить близько 3,2% від загального світового обсягу. За даними Мінагрополітики України з 1997 по 2021 рр. площі вирощування цієї культури збільшилися у 3,3 рази – з 1,68 млн. га 5,5 млн. га. З 2022 по 2025 рр. у зв'язку з війною в країні відбулося скорочення посівних площ до 4,145 млн. га.

В останні роки у загальній структурі зерновиробництва нашої країни частка кукурудзи сягає майже 50%. Тобто вона є стратегічно важливою культурою для забезпечення стійкого розвитку аграрної галузі України. Збільшити врожайність та обсяги виробництва її зерна можливо шляхом удосконалення технології вирощування за рахунок реалізації генетичного потенціалу та впровадження нових високопродуктивних гібридів, використання сучасних засобів захисту рослин та оптимізації мінерального живлення [2, 3].

За сучасних складних економічних умов, питання забезпечення високої урожайності посівів кукурудзи є актуальним. Практично кожні кілька років змінюється кількісний та якісний склад гібридів, які відрізняються тривалістю вегетаційного періоду, адаптивністю, потенціалом урожайності та потребують уточнення певних агротехнічних заходів (норма витрати насіння при сівбі, густина стояння рослин та ін.). Удосконалення технології вирощування кукурудзи фактично спрямовується на задоволення потреб рослин і сприяє розкриттю їх потенціалу. Одним із шляхів оптимізації технології вирощування є уточнення норм внесення мінеральних добрив за поєднання їх із біологічними препаратами [4]. Тому, дослідження застосування азотфіксаторів, які впливають на продуктивність рослин кукурудзи та можуть знижувати їх потребу у використанні азотних добрив, сприяти збільшенню урожайності та рівня рентабельності виробництва культури, є особливо актуальними.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Високі врожаї кукурудзи можливі лише за умови внесення достатньої кількості добрив, оскільки ця культура ефективніше засвоює поживні речовини, порівняно з іншими зерновими. Це

пояснюється тривалішим вегетаційним періодом і здатністю рослин активно поглинати елементи живлення протягом усього циклу розвитку – від початку вегетації до повного дозрівання зерна [5]. Внаслідок оптимізації умов живлення гібридів кукурудзи при застосуванні збалансованих норм мінеральних добрив у поєднанні із біопрепаратами відбувається інтенсивний ріст стебла та формування листкової поверхні рослин, що сприяє підвищенню вмісту хлорофілу, ефективності фотосинтезу та збільшенню врожайності зерна [6-8].

Комбінація мінеральних добрив і біопрепаратів створює позитивний ефект на характеристики ґрунту, допомагаючи зберегти його родючість, активувати мобілізацію фосфору та калію з нерозчинних сполук до доступної для рослин форми. При цьому підвищується ефективність мінеральних добрив, відбувається оптимізація живлення та покращується стійкість рослин до несприятливих умов навколишнього середовища, збільшується врожайність сільськогосподарських культур. Проведені польськими дослідниками експерименти показали, що правильно підібрані біостимулятори позитивно впливають на ріст рослин, фізіологічні показники та врожайність зерна кукурудзи. При цьому вплив препаратів на врожайність зерна залежав від умов, що панували у вегетаційний період [10].

Як відомо, асоціація бактерій з рослинами – це тісна взаємодія (симбіоз або асоціативний симбіоз), за якої мікроорганізми колонізують коріння (інокуляція насіння перед сівбою) або внутрішні тканини рослин (обприскування у ранній вегетаційний період). При цьому бактерії отримують поживні речовини, а рослини – азот, гормони росту та захист від патогенів, що підвищує врожайність [11]. Зарубіжними вченими проводилися дослідження з вивчення способів інокуляції насіння як бобових, так і зернових культур, які не мають бульбочкових бактерій в кореневій системі. Визначено, що за асоціативної азотфіксації в небобових культур відбувалося стимулювання росту рослин за рахунок збільшення азотного живлення, а бактерії отримували вуглець з рослинного фотосинтезу [12].

Факультативні метилотрофи родів *Methylobacterium* та *Methylorubrum* можуть використовувати відновлені одновуглецеві сполуки як джерела вуглецю та енергії. Вони, зазвичай, асоціюються з рослинами, особливо на поверхні листя, де їхній метилотрофний метаболізм пропонує значну адаптивну перевагу над іншими видами бактерій, завдяки їхній здатності виробляти рослинні гормони та допомагати рослинам засвоювати поживні речовини [13]. Бактерії, що містять нітрогеназу, займають незамінну екологічну нішу, постачаючи фіксований азот до глобального циклу азоту. Завдяки цій початковій ролі в циклі азоту, діазотрофи присутні практично у всіх екосистемах та таких різноманітних середовищах, як аеробні ґрунти (наприклад, види *Azotobacter*), поверхневий шар океану (*Trichodesmium*) та спеціалізовані бульбочки в коренях бобових (*Rhizobium*) [14].

Українськими вченими досліджено, що застосування мікробних препаратів для інокуляції насіння сільськогосподарських культур забезпечує зменшення емісії оксиду азоту ( $N_2O$ ) з ризосферного ґрунту рослин за їх вирощування по мінеральних агрофонах, що важливо як в економічному, так і в екологічному відношеннях [15].

Дослідженнями німецьких вчених доведено, що інокуляція комплексом штамів корисних бактерій (*Pseudomonas* sp. RU47, *Bacillus atrophaeus* ABi03, *Trichoderma harzianum* OMG16) покращує ріст та придатність рослин кукурудзи, зокрема, збільшуючи поглинання заліза, що має вирішальне значення для адаптації до посухи. Тому, використання консорціумів корисних мікробів для сталого сільського господарства, зокрема з акцентом на зменшення використання

агрохімікатів та обробітку ґрунту, може мати вирішальне значення для покращення здоров'я сільськогосподарських культур та стабільності врожайності [16]. Інокуляція бактеріями *Azospirillum brasilense* насіння кукурудзи збільшувала масу коренів на 12,1%, концентрацію азоту в листі на 4,3%, врожайність зерна на 5,4% та вміст азоту в зерні на 3,6%. Застосування біопрепарату способом обприскування на початкових стадіях вегетативного росту (2-3 листки) забезпечило збільшення врожайності зерна на +3,1% [17].

Одним із сучасних біопрепаратів на основі азотфіксуючої бактерії-ендофіту (*Methylobacterium symbioticum*) є Блу N виробництва компанії Corteva Agriscience. Ця бактерія взаємодіє з рослиною, забезпечуючи їй надходження азоту з атмосфери. При потраплянні у вигляді водного розчину на рослину, відбувається її колонізація природними бактеріями, які продовжують співіснувати з нею до кінця вегетації. При цьому забезпечення посівів культури додатковим азотом може сягати 20-30 кг/га і більше [18]. Зокрема, у 2021 та 2022 рр. проведено оцінку фіксації азоту рослинами кукурудзи під впливом *Methylobacterium symbioticum*, яка сягала 58,8 та 14,5 кг/га, відповідно [19].

Вивчення бактерії *Methylobacterium symbioticum* показало її позитивний вплив на стимулювання росту рослин, підвищення ефективності використання азоту та продуктивності зернових культур. Виявлено, що рослини, оброблені цією бактерією, продемонстрували 5% збільшення вмісту білка в зерні. Таким чином, стратегія інокуляції біопрепаратами може підвищити ефективність використання азоту, особливо за умови зменшення мінерального удобрення, що є екологічно чистою та сталою сільськогосподарською стратегією вирощування кукурудзи [20, 21].

Отже, дослідження ефективності використання мінеральних добрив у поєднанні з біологічними препаратами в системі підживлення кукурудзи є важливим завданням. Це дозволить створити сприятливі умови для росту і розвитку рослин культури, а також для одержання високої її продуктивності, що є актуальним.

**Мета** нашої роботи полягала у визначенні впливу різних норм мінерального живлення у поєднанні із застосуванням біопрепарату азотфіксатора на вміст хлорофілу в листках рослин та продуктивність посівів кукурудзи.

**Матеріали та методика досліджень.** Польові дослідження було проведено за загальноприйнятими методиками [22-26] впродовж 2023–2025 рр. в ґрунтово-кліматичних умовах СТОВ «Любарецьке» Бориспільського району Київської області (координати 50°13'19.8"N 31°09'49.6"E) на посівах кукурудзи. Ґрунт на дослідному полі чорнозем опідзолений малогумусний із умістом гумусу 3,8%. Вміст рухомих форм  $\text{NO}_3$  – 2,05 мг/100 г ґрунту,  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 7,3 мг/100 г,  $\text{K}_2\text{O}$  – 14,0 мг/100 г, рН-6,2, щільність ґрунту 1,2 г/см<sup>3</sup>. Розмір дослідної ділянки 33 м<sup>2</sup>, повторність 4-кратна, розміщення ділянок послідовне багаторушне. Сівбу проводили насінням кукурудзи Р8436AQ (ФАО 260) середньо-ранньої групи стиглості.

Основний обробіток ґрунту із використанням оборотного плуга на глибину 22-24 см проводили восени. Навесні здійснювали закривання вологи важкими зубовими боронами. У якості мінерального підживлення застосовували нітроамофоску (15:15:15), а також додавали карбамід з метою корекції норми внесення азоту згідно схеми досліду. Після розсівання мінеральних добрив їх заробляли в ґрунт культиватором Lemken SYSTEM-Компактор на глибину 10-12 см. Сівбу насіння кукурудзи здійснювали за використання селекційної сівалки Winterstaiger на глибину 4,5-5,0 см. Подальша технологія догляду за кукурудзою була загальноприйнятною для зони Лісостепу.

Після появи сходів культури у фазу 5-6 листків проводили внесення препарату Блу N із рекомендованою нормою витрати (333 г/га) за допомогою тракторного

обприскувача. При цьому витрата робочого розчину рідини склала 250 л/га. Схема польового дослідження включала варіанти із внесенням різних норм мінеральних добрив, а також із застосуванням біопрепарату, контроль – без добрив та контроль із внесенням біопрепарату (табл. 1).

Таблиця 1

## Схема польового дослідження

Варіант	Норма внесення мінеральних добрив, кг/га д. р.	Норма витрати біопрепарату, кг/га
Контроль (без добрив)	-	-
Контроль (без добрив) + азотфіксатор	-	0,333
Нітроамофоска + карбамід	N <sub>60</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	-
Нітроамофоска + карбамід + азотфіксатор	N <sub>60</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	0,333
Нітроамофоска + карбамід	N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	-
Нітроамофоска + карбамід + азотфіксатор	N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	0,333
Нітроамофоска + карбамід	N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	-
Нітроамофоска + карбамід + азотфіксатор	N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	0,333
Нітроамофоска + карбамід	N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	-
Нітроамофоска + карбамід + азотфіксатор	N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	0,333

Гідротермічний коефіцієнт (ГТК) за вегетаційний період розраховували за формулою:  $K=R*10/\Sigma t$ , де R – сума опадів у міліметрах за період із температурою вище +10 °С,  $\Sigma t$  – сума активних температур (САТ) у градусах Цельсія (°С) за той самий час. Низький показник ГТК (менше 1) є ознакою недостатнього зволоження впродовж вегетаційного періоду [27, 28].

На дослідних ділянках кукурудзи на початку цвітіння було проведено обліки для визначення забезпечення і, відповідно, потреби рослин в азотному живленні. Вимірювання здійснювали за використання приладу N-Tester YARA, який діє шляхом вимірювання в умовних одиницях вмісту хлорофілу в листі, що пов'язане з азотним станом рослини [29, 30]. Для отримання середнього значення потрібно провести 30 випадкових вимірювань на листках культури з ділянки варіанту дослідження.

**Результати досліджень.** Основним джерелом зволоження ґрунту в зоні проведення досліджень є атмосферні опади. Середня річна вологість повітря становить 76% (коливається в межах 36-99%). У 2023 р. гідротермічний коефіцієнт склав 1,23 (табл. 2), а сума опадів впродовж вегетаційного періоду сягала 375,4 мм, на 9,4% перевищивши середній багаторічний показник. Погодні умови цього року характеризувалися достатнім зволоженням.

Таблиця 2

## Метеорологічні умови вегетаційного періоду, Бориспільський р-н

Показник	2023 р.	2024 р.	2025 р.	Середнє багаторічне
САТ за IV-IX місяці, °С	3063,6	3412,5	2967,5	2825,0
СЕТ (>10°С) за IV-IX місяці, °С	1463,6	1715,4	1377,5	1300,0
Сума опадів за IV-IX місяці, мм	375,4	329,2	305,4	343,0
ГТК	1,23	0,96	1,03	1,21

У 2024 та 2025 рр. сума опадів сягала лише 329,2 та 305,4 мм, що склало 95,9 та 89,0% від багаторічної норми, відповідно. При цьому ГТК становив 0,96 та 1,03, що вказує на слабку посуху. Загалом, аналізуючи погодні дані 2023-2025 рр. та порівнюючи їх із середніми багаторічними даними, слід відмітити, що кількість опадів, яка випадає впродовж вегетаційного періоду є, переважно, достатньою для формування високих урожаїв сільськогосподарських культур, зокрема кукурудзи.

Зростання сум активних та ефективних температур спостерігалось з 2023 по 2025 рр. При цьому перевищення САТ над середнім багаторічним показником склало 5,0-20,8%. Тоді як сума ефективних температур (СЕТ) на 5,9-32,0% перевищувала багаторічну норму. Таке зростання СЕТ сприяє пришвидшенню строків росту та розвитку сільськогосподарських культур та призводить до їх більш швидкого дозрівання. Зокрема, у 2024 р. наприкінці серпня (на два тижні раніше звичайних строків) розпочали збирання врожаю кукурудзи, вологість зерна якої сягала 14-25%, залежно від групи стиглості гібридів. Протилежну ситуацію спостерігали у 2025 році, коли у вересні майже щодня випадали опади у вигляді короткочасних дощів й утримувалася прохолодна та волога погода. Це значно уповільнювало дозрівання і втрату вологості зерна кукурудзи та призвело до перенесення строків молотби на жовтень-листопад.

У 2023-2025 рр. проводилися обліки на дослідних ділянках кукурудзи за різних норм мінерального живлення та із внесенням біопрепаратів. У результаті проведених вимірювань виявлено різницю між варіантами досліду із внесенням запланованих норм мінеральних добрив, а також варіантами із обприскуванням азотфіксатором у фазу 5-6 листків культури. За застосування лише підживлення рослин кукурудзи мінеральними добривами, залежно від норм їх внесення, відмічено збільшення кількості умовних одиниць хлорофілу у листках кукурудзи на 1,6-7,3%, порівняно із контролем (без добрив) (табл. 3). Разом з тим, додавання біопрепарату призводило до підвищення вмісту хлорофілу у листках кукурудзи на 2,8-5,5%, порівняно із контролем (без добрив + азотфіксатор).

Таблиця 3

**Вплив мінеральних добрив та азотфіксатору на потребу рослин кукурудзи в живленні азотом, 2023-2025 р.**

Варіант	Показник N Тестера (середнє значення)				
	I	II	III	IV	Середнє
Без добрив	722,7	706,7	718,0	723,0	717,6
Без добрив + азотфіксатор	750,0	728,0	751,7	763,3	748,3
N <sub>60</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	725,3	719,3	732,3	740,3	729,3
N <sub>60</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub> + азотфіксатор	771,3	786,3	758,0	762,7	769,6
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	728,0	740,7	751,3	712,3	733,1
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> + азотфіксатор	761,7	776,7	802,0	754,7	773,8
N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	756,0	750,3	764,7	757,7	757,2
N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub> + азотфіксатор	787,3	776,3	795,0	774,7	783,3
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	764,3	791,0	753,3	772,0	770,2
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> +	775,7	795,0	779,0	808,7	789,6

НІР<sub>05</sub>

Фактор А (мінеральне живлення)	14,41
Фактор В (азотфіксатор)	9,11
Взаємодія факторів АВ	20,38

Застосування азотфіксатора істотно впливало на кількість хлорофілу в листках рослин кукурудзи. Так, при порівнянні варіантів із однаковою нормою внесених мінеральних добрив, за обприскування культури азотфіксатором відмічали в рослинах у середньому на 2,5-5,5% вищу кількість хлорофілу, порівняно з необробленими ділянками. Це вказує на те, що використання цього біопрепарату достовірно покращує забезпеченість рослин культури азотним живленням. Встановлено позитивний вплив застосування азотфіксатора в технології вирощування кукурудзи на покращення засвоєння азоту. Одержано тісну позитивну кореляцію між нормами застосування азоту з мінеральними добривами та кількістю хлорофілу в листках рослин кукурудзи ( $r=0,85$ ).

Погодні умови років досліджень істотно впливали на строки збирання урожаю зерна кукурудзи. Зокрема у 2023 р. молотітьбу дослідних ділянок було проведено в середині вересня, у 2024 р. – у кінці серпня, у 2025 р. – у середині жовтня. Більш інтенсивний ріст та розвиток рослин культури за рахунок забезпечення елементами мінерального живлення, зокрема азоту, сприяв формуванню вищої продуктивності посіву. Так, у варіантах із внесенням мінеральних добрив урожайність зерна перевищувала показник контролю на 1,65-2,63 т/га або 15,6-24,9% (табл. 4).

Таблиця 4

**Продуктивність кукурудзи, залежно від норм мінерального живлення та дії препарату Блу N, 2023-2025 р.**

Варіант	Урожайність зерна за 14% вологості, т/га					Вологість зерна при збиранні, %				
	I	II	III	IV	середнє	I	II	III	IV	середнє
Без добрив	10,61	10,54	10,67	10,44	10,57	20,7	20,3	21,1	20,7	20,7
Без добрив + азотфіксатор	11,25	11,42	11,30	11,47	11,36	20,8	19,9	19,8	19,7	20,0
N <sub>60</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	12,08	12,37	12,23	12,16	12,21	19,6	20,9	21,1	20,9	20,7
N <sub>60</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub> + азотфіксатор	12,73	13,05	13,07	12,82	12,92	20,4	20,3	20,8	20,6	20,5
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	12,86	12,54	12,56	12,68	12,66	19,9	20,4	20,5	20,1	20,2
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> + азотфіксатор	13,36	13,30	13,13	13,03	13,21	20,5	20,3	20,3	20,8	20,5
N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	12,83	12,60	13,05	13,00	12,87	19,7	20,1	20,3	20,5	20,1
N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub> + азотфіксатор	13,48	13,67	13,56	13,57	13,57	20,6	20,7	19,9	19,8	20,2
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	13,30	13,02	13,32	13,14	13,20	21,9	20,6	21,0	21,1	21,2
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> + азотфіксатор	14,33	14,02	13,95	13,69	14,00	21,2	20,7	21,1	21,8	21,2

НІР<sub>05</sub>

Фактор А (мінеральне живлення)	0,23	0,65
Фактор В (азотфіксатор)	0,16	0,46
Взаємодія факторів АВ	0,10	0,29

Поєднання мінеральних добрив із позакореневим внесенням азотфіксатора забезпечувало інтенсивний ріст та розвиток рослин культури та, відповідно, їх високу продуктивність. Так, у цих варіантах одержано урожайність зерна кукурудзи на 1,55-2,64 т/га або 13,7-23,2% вищу, порівняно з відповідним контролем. Найбільший середній показник урожайності зерна, яка сягала 14,0 т/га, забезпечив варіант

$N_{150}P_{120}K_{120}$  + азотфіксатор. При цьому одержано більшу урожайність зерна кукурудзи в середньому на 5,8% або 0,71 т/га, порівняно з варіантами без позакореневого внесення біопрепарату. При порівнянні норм внесеного азоту із урожайністю культури встановлено тісну прямо пропорційну кореляційну залежність ( $r=0,95$ ).

Провівши математичний аналіз одержаних показників, встановлено, що на урожайність зерна найбільше впливав фактор підживлення мінеральними добривами (85,1%), частка впливу азотфіксатора на цей показник складала 12,8%, взаємодії цих факторів – 2,0% (рис. 1).

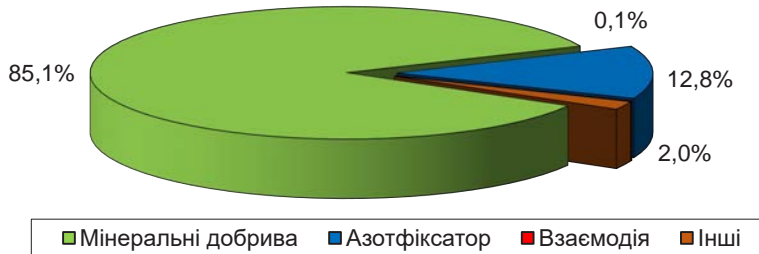


Рис 1. Вплив факторів на урожайність зерна, 2023-2025 рр.

Тоді як частка впливу на вологість зерна фактору мінеральні добрива сягала 42,2%, азотфіксатора – лише 1,7%, взаємодії цих факторів – 0,5%, інших факторів – 55,6% (рис. 2).

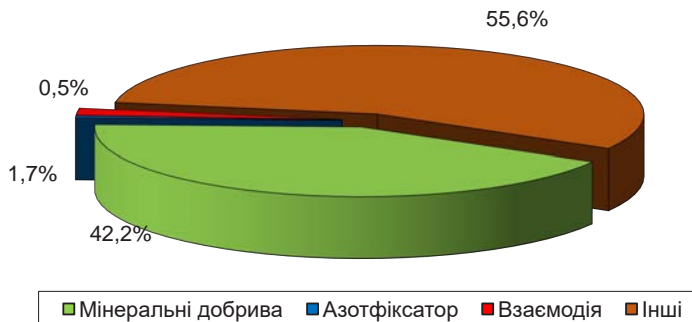


Рис 2. Вплив факторів на вологість зерна, 2023-2025 рр.

За сучасних умов зміни клімату, подорожчання мінеральних добрив, застосування азотфіксаторів сприяє підвищенню вмісту хлорофілу в листовому апараті, збільшенню ефективності фотосинтезу та продуктивності посіву культури. Таким чином, вивчення можливості та доцільності поєднання застосування мінеральних добрив з сучасними біологічними препаратами в системі підживлення кукурудзи, а також інших сільськогосподарських культур є актуальним та перспективним завданням для наступних досліджень.

**Висновки.** Використання біопрепарату у системі удобрення кукурудзи у поєднанні з мінеральними добривами позитивно впливає на такий показник як кількість

хлорофілу в листовому апараті рослин кукурудзи. У варіантах із обприскуванням азотфіксатором відмічали у середньому на 2,5-5,5% вищу забезпеченість азотом рослин культури, залежно від норм внесення мінеральних добрив, у порівнянні з необробленими рослинами.

Встановлено позитивний вплив застосування азотфіксатора в технології вирощування кукурудзи на покращення засвоєння азоту. Одержано тісну позитивну кореляцію між нормами застосування азоту з мінеральними добривами та кількістю хлорофілу в листках рослин кукурудзи ( $r=0,85$ ).

У 2023-2025 рр. у варіантах із внесенням лише мінеральних добрив урожайність зерна перевищувала показник контролю у середньому на 1,65-2,63 т/га або 15,6-24,9%. При порівнянні норм внесеного азоту із урожайністю культури встановлено тісну прямо пропорційну кореляційну залежність ( $r=0,95$ ).

Варіанти із застосуванням мінеральних добрив у поєднанні з позакореневим внесенням азотфіксатора забезпечували інтенсивний ріст та розвиток рослин культури, які показали високу продуктивність. Так, у цих варіантах одержано урожайність зерна кукурудзи в середньому на 1,55-2,64 т/га або 13,7-23,2% вищу, порівняно з відповідним контролем. При цьому в середньому на 5,8% або 0,71 т/га одержано вищу урожайність зерна кукурудзи, порівняно з варіантами без внесення біопрепарату.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Tanklevska N., Petrenko V., Karnausenko A., Melnykova K. World corn market: analysis, trends and prospects of its deep processing. *Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal*. 2020. Vol. 6. P. 96-111. doi: 10.22004/ag.econ.305555.
2. Каменщук Б. Д. Шляхи підвищення ефективності вирощування кукурудзи на зерно. *Корми і кормовиробництво*. 2020. № 89. С. 85-92. doi: 10.31073/kormovyrobnytstvo202089-08.
3. Говенько Р. В. Вплив технологічних прийомів вирощування на формування елементів структури врожаю гібридів кукурудзи. *Агробіологія*. 2022. №2. С. 68-78. doi: 10.33245/2310-9270-2022-174-2-68-78.
4. Сидякіна О. В., Іванів М. О. Вплив фону мінерального живлення та стимулятора росту Зеастимулін на продуктивність зерна кукурудзи в умовах зрошення півдня України. Інтеграція освіти, науки та бізнесу в сучасному середовищі: зимові диспути : тези доп. І Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції. Дніпро, 6-7 лютого 2020 р. 2020. Т. 3. С. 177-183. <http://hdl.handle.net/123456789/3293>.
5. Асанішвілі Н. М. Оптимізація мінерального живлення гібридів кукурудзи на основі рослинної діагностики. *Рослинництво та ґрунтознавство*. 2020. Т.11. №3. С. 22-32. [https://agriculturalscience.com.ua/web/uploads/journals\\_pdf/Plant\\_2020\\_3.pdf](https://agriculturalscience.com.ua/web/uploads/journals_pdf/Plant_2020_3.pdf).
6. Циліорик О. І., Тищенко В. О. Вплив густоти стояння рослин та рівня мінерального живлення на уміст хлорофілу в листках кукурудзи. *Аграрні інновації*. 2024. № 27. С. 133-139. doi: 10.32782/2226-0099.2024.137.38.
7. Томашук О. В., Каменщук Б. Д. Фотосинтетична продуктивність посівів кукурудзи під впливом різних систем землеробства в умовах Лісостепу Правобережного. *Таврійський науковий вісник*. 2018. № 100. Том. 2. Р. 91-97. <https://dspace.ksaeu.kherson.ua/bitstream/handle/123456789/2505/15.pdf>.
8. Ткаліч Ю. І., Циліорик 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. <https://dspace.dsau.dp.ua/bitstream/123456789/355/1/20.pdf>.

9. Дудка М. І., Якунін О. П., Пустовий С. І. Вплив позакореневого підживлення на формування зернової продуктивності кукурудзи за вирощування її після соняшнику. Таврійський науковий вісник. Серія сільськогосподарські науки. 2020. №115. С. 42-48. doi: 10.32851/2226-0099.2020.115.6.
10. Sobiech Ł., Grzanka M., Idziak R., Blecharczyk A. The Effect of Post-Emergence Application of Biostimulants and Soil Amendments in Maize Cultivation on the Growth and Yield of Plants. *Plants (Basel)*. 2025. Vol. 14. No 9. P. 1-15. doi: 10.3390/plants14091274.
11. Ardanov P., Sessitsch A., Häggman H., Kozyrovska N., Pirttilä A. M. *Methylobacterium*-induced endophyte community changes correspond with protection of plants against pathogen attack. *PLoS One*. 2012. Vol. 7. No 10. P. 1-8. doi: 10.1371/journal.pone.0046802.
12. Pankiewicz V. C. S., Irving T. B., Maia L. G. S. et al. Are we there yet? The long walk towards the development of efficient symbiotic associations between nitrogen-fixing bacteria and non-leguminous crops. *BMC Biol*. 2019. Vol. 16. No 99. P. 1-17. doi: 10.1186/s12915-019-0710-0.
13. Grossi C. E. M., Ulloa R. M., Sahin N., Tani A. *Methylobacterium* as a key symbiont in plant-microbe interactions: Its ecological and agricultural significance. *Plant Biotechnol.* (Tokyo). 2025. Vol. 42, Issue 3. P. 1-23. doi: 10.5511/plantbiotechnology.25.0309a.
14. Halbleib C. M., Ludden P. W. Regulation of Biological Nitrogen Fixation. *The Journal of Nutrition*. 2000. Vol. 130, Issue 5. P. 1081-1084. doi: 10.1093/jn/130.5.1081.
15. Волгогон В. В., Москаленко А. М., Дімова С. Б., Волгогон К. І., Пиріг О. В., Сидоренко В. П. Мікробні препарати в технологіях вирощування сільськогосподарських культур як чинник регулювання активності процесу денітрифікації. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2019. № 29. С. 3-11. doi: 10.35868/1997-3004.29.3-11.
16. Francioli D., Kampouris I. D., Kuhl-Nagel T., Babin D., Sommermann L., Behr J. H., Chowdhury S. P., Zrenner R., Moradtalab N., Schloter M., Geistlinger J., Ludewig U., Neumann G., Smalla K., Grosch R. Microbial inoculants modulate the rhizosphere microbiome, alleviate plant stress responses, and enhance maize growth at field scale. *Genome Biol*. 2025. Vol. 26. No 148. P. 1-29. doi: 10.1186/s13059-025-03621-7.
17. Barbosa J. Z., Roberto L. de A., Hungria M., Corrêa R. S., Magri E., Correia T. D. Meta-analysis of maize responses to *Azospirillum brasilense* inoculation in Brazil: Benefits and lessons to improve inoculation efficiency. *Applied Soil Ecology*. 2022. Vol. 170. P. 1-10. doi: 10.1016/j.apsoil.2021.104276.
18. Torres Vera R., Bernabé García A. J., Carmona Álvarez F. J. et al. (2024). Application and effectiveness of *Methylobacterium symbioticum* as a biological inoculant in maize and strawberry crops. *Folia Microbiol*. Vol. 69. 121-131. doi: 10.1007/s12223-023-01078-4.
19. Rodrigues M. Â., Correia C. M., Arrobas M. The Application of a Foliar Spray Containing *Methylobacterium symbioticum* Had a Limited Effect on Crop Yield and Nitrogen Recovery in Field and Pot-Grown Maize. *Plants*. 2024. Vol. 13. No 20. P. 1-15. doi: 10.3390/plants13202909.
20. Bolla P.K., Panozzo A., Minozzi E., Valente F., Potestio S., Visioli G., Martinez-Sañudo I., Vamerali T. Effects of foliar-sprayed bio-fertilizer with N-fixing *Methylobacterium symbioticum* on morpho-physiological traits of maize under varying N fertilization rates. *Front Plant Science*. 2025. Vol. 16. P. 1-20. doi: 10.3389/fpls.2025.1661290.
21. Zapalowska A., Jarecki W. The Impact of Using Different Types of Compost on the Growth and Yield of Corn. *Sustainability*. 2024. Vol. 16. No 2. P. 1-18. doi: 10.3390/su16020511.
22. Лісовал А. П. Методи агрохімічних досліджень. К.: Вид-во НАУ, 2001. 247 с.

23. Трибель С. О., Сігарьова Д. Д., Секун М. П., Івашенко О. О. та ін. Методики випробування і застосування пестицидів. Київ: Світ, 2001. 448 с.
24. Ушкаренко В. О., Вожегова Р. А. Методика польового досліджу: навчальний посібник. Одеса: Олді Плюс+, 2024. 448 с. <https://oldiplus.ua/metodika-polovogo-doslidu-zroshuvane-zemlerobstvo/>.
25. Ушкаренко В. О., Нікішенко В. Л., Голобородько С. П., Коковихін С. В. Дисперсійний і кореляційний аналіз у землеробстві та рослинництві: навчальний посібник. Херсон: Айлант, 2008. 272 с.
26. Рожков А. О., Пузік В. К., Каленська С. М., Пузік Л. М., Попов С. І., Музафаров Н. М., Бухало В. Я., Криштоп Є. А. Дослідна справа в агрономії: навчальний посібник: Статистична обробка результатів агрономічних досліджень. Книга 2. Харків: Майдан, 2016. 342 с. <https://repo.btu.kharkiv.ua/bitstreams/beffa575-04f0-4397-a357-06daed2570f8/download>.
27. Meladze M., Meladze G. Climate change: A trend of increasingly frequent droughts in Kakheti Region (East Georgia). *Annals of Agrarian Science*. 2017, Vol. 15 No 1. P. 96-102. doi: 10.1016/j.aasci.2017.02.011.
28. Stoyanova A., Georgiev M. Hydrothermic coefficients of common wheat. *Proceedings of Conference «Genetica, fiziologia și ameliorarea plantelor»*. Ediția a VI-a, Chișinău, Moldova. October 23-24. 2017. P. 87-90. [https://ibn.idsi.md/vizualizare\\_articol/90109](https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/90109).
29. Francis D. D., Schepers J. S., Vigil M. F. Assessing Crop Nitrogen Needs with Chlorophyll Meters. Proceedings of the Twenty-First North Central Extension – Industry Soil Fertility Conference (November 13-14, 1991, Holiday Inn St. Louis Airport Bridgeton, Missouri). 1991, Vol. 7. P. 13-20. <https://northcentralfertility.com/proceedings/?action=download&item=3555>.
30. Сухина А. N-тестер – очі агронома. *Пропозиція*. 2023 <https://propozitsiya.com/ua/n-tester-ochi-agronoma>.

Дата першого надходження статті до видання: 07.04.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 01.05.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026