

УДК 631.53:633.15

DOI <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2026.36.3>

ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ВРОЖАЮ КУКУРУДЗИ ЗА ПОЄДНАННЯ МІНЕРАЛЬНОГО ТА БІОЛОГІЧНОГО ЖИВЛЕННЯ В ЦЕНТРАЛЬНОМУ ЛІСОСТЕПУ

АНТОНЕНКО О.О. – аспірант кафедри рослинництва

orcid.org/0009-0005-5488-896X

Національний університет біоресурсів і природокористування України

ДОВГЕЛЯ О.М. – кандидат сільськогосподарських наук, докторант

orcid.org/0009-0006-7000-0358

Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України

Постановка проблеми. Кукурудза, як і інші зернові культури, потребує ретельного дотримання технологічних прийомів вирощування. Як зазначає J.J. Milander [1], одним із ключових елементів сучасних технологій є оптимізація системи живлення з урахуванням впливу окремих видів добрив та їх поєднань на формування структури врожаю. Разом з тим, навколишнє середовище, густина стояння рослин, гібрид та водний режим істотно впливають на рівень та структурні показники врожайності зерна культури.

Традиційні технології вирощування кукурудзи ґрунтуються на застосуванні підвищених норм мінеральних добрив, що забезпечує високий рівень урожайності, однак супроводжується значними енерговитратами та зниженням коефіцієнта використання поживних елементів рослинами [2, 3]. Перспективним напрямом удосконалення системи живлення культури є поєднання мінеральних добрив із мікробіологічними препаратами, здатними активізувати біологічні процеси в ґрунті, мобілізувати важкодоступні форми поживних елементів та стимулювати адаптаційні можливості рослин [4, 5].

Для підвищення рівня реалізації біологічного потенціалу кукурудзи важливе значення має впровадження у виробництво сучасних ефективних конкурентоспроможних технологій вирощування, які повинні базуватися на підборі адаптованих для зони високопродуктивних гібридів за оптимізації умов макро– і мікроелементного живлення, штучного зволоження, застосування сучасних біостимуляторів росту [6]. В умовах глобальних кліматичних змін, що супроводжуються нестабільним вологозабезпеченням у критичні фази розвитку культури, ефективність традиційного кореневого живлення суттєво обмежується. Це зумовлює необхідність впровадження позакоренових підживлень та використання ендоефітних мікроорганізмів, які здатні забезпечувати рослину азотом безпосередньо через листовий апарат, нівелюючи ризики від пересихання орного шару ґрунту.

Важливим аспектом сучасних досліджень є вивчення взаємодії між мінеральними добривами, мікродобривами та біологічними стимуляторами. Оптимізація такого поєднання дозволяє не лише стабілізувати масу 1000 насінин у стресових умовах, а й підвищити окупність кожної одиниці внесеного добрива врожаєм зерна

[7]. Особливої ваги набуває питання регулювання густоти стояння рослин, оскільки загущення посівів посилює конкуренцію за вологу та елементи живлення, що без відповідної мікробіологічної підтримки призводить до зменшення виповненості та лінійних розмірів зерна. Також, за надмірного загущення або зрідження посівів відбувається погіршення якісних показників, зокрема зниження вмісту сирого протеїну в зерні [8, 9].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Ефективність сучасних агротехнологій також тісно пов'язана з оптимізацією щільності стеблостою. Згідно з дослідженнями, максимальна врожайність досягається за умови оптимального поєднання густоти стояння та рівня мінерального живлення [10, 11]. При цьому маса 1000 насінин виступає ключовим індикатором якості зернівок та одним із найбільш стабільних показників структури врожаю, що відображає рівень адаптації гібрида до умов вирощування [12]. У контексті глобальних кліматичних змін та необхідності зниження пестицидного й агрохімічного навантаження, особливого значення набувають екологічно безпечні біопрепарати. Сучасні наукові праці підкреслюють, що біостимулятори не лише активізують фізіологічні процеси та посилюють стійкість до абіотичних стресів, але й здатні суттєво покращувати азотний метаболізм рослин [13, 14].

За даними сучасних досліджень R. Torres Vera et al. (2024), встановлено, що бактерія *Methylobacterium symbioticum* здатна вступати в симбіотичну взаємодію з рослинами, забезпечуючи їх додатковими обсягами атмосферного азоту. За позакоренового внесення у вигляді водного розчину відбувається колонізація рослин асоційованими мікроорганізмами, які можуть зберігати життєздатність і функціональну активність протягом усього вегетаційного періоду. За таких умов рівень додаткового азотного живлення культурних рослин може становити 20–30 кг/га і більше [15].

Водночас результати польових досліджень, проведених у 2021–2022 рр., свідчать про значну варіабельність ефективності азотфіксації залежно від умов вирощування. Так, за даними Rodrigues et al. (2024), обсяги фіксованого азоту рослинами кукурудзи під впливом *Methylobacterium symbioticum* коливалися від 14,5 до 58,8 кг/га. Це підтверджує доцільність подальших



досліджень, спрямованих на уточнення ефективності застосування азотфіксуючих біопрепаратів залежно від культури, ґрунтово-кліматичних умов та технологічних особливостей її вирощування [16].

Крім фізіологічних переваг, інокуляція *Methylobacterium symbioticum* може впливати на формування якісних показників та післязбиральні характеристики зерна кукурудзи. За даними Volla et al. (2025), застосування азотфіксуючого біопрепарату в поєднанні з мінеральним азотним живленням сприяло інтенсифікації фізіологічних процесів, пов'язаних із дозріванням рослин, що проявлялося у тенденції до зниження вологості зерна на момент збирання, порівняно з варіантами без інокуляції. Такий ефект має практичне значення з огляду на потенційне скорочення витрат на післязбиральну обробку врожаю. Аналіз біохімічного складу зерна засвідчив позитивний вплив інокуляції на показники його якості, зокрема відмічалася тенденція до підвищення вмісту білка та збільшення маси 1000 насінин за оптимального поєднання мінерального та біологічного живлення. Водночас, надмірні дози мінерального азоту без використання мікробіологічних препаратів супроводжувалися погіршенням окремих якісних показників зерна, що підтверджує важливу роль ендоситних мікроорганізмів у регуляції азотного обміну та формуванні повноцінного врожаю кукурудзи [17].

За даними низки досліджень, ефективність азотного живлення кукурудзи значною мірою залежить не лише від рівня внесення азоту, а й від застосування інгібіторів уреаз та біологічних препаратів. Встановлено, що підвищення норми азотних добрив з N_{100} до N_{140} забезпечує істотне зростання урожайності зерна, тоді як подальше збільшення до N_{180} не завжди є економічно виправданим, особливо за менш сприятливих погодних умов. Застосування інгібіторів уреаз та біопрепаратів сприяло підвищенню ефективності використання азоту, зменшенню його втрат і покращенню елементів структури врожаю, зокрема маси 1000 насінин кукурудзи, порівняно з варіантами без біологічної підтримки [18].

Отже, дослідження ефективності використання мінеральних добрив у поєднанні з азотфіксатором 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 – дослідити вплив сумісного застосування мінеральних добрив та азотфіксатора на структурні показники продуктивності кукурудзи за різної густоти стояння рослин в умовах Центрального Лісостепу України.

Матеріали та методи. Дослідження проводили у 2023–2025 рр. згідно із загальноприйнятими методиками [19, 20] на базі СТОВ «Любарецьке» (Київська обл., Бориспільський р-н) ($50^{\circ}17'22.8''N$, $31^{\circ}09'37.6''E$). Випробування проводили на посівах гібриду кукурудзи Р9255 (ФАО 330) за чотирикратного повторення. Розмір облікової ділянки – 33 м², розміщення – послідовне багаторядне. Ґрунтовий покрив дослідного поля представлений чорноземом опідзолим малогумусним. Агрохімічна характеристика орного шару (0–20 см) свідчить про такий стан родючості: вміст гумусу – 3,8%, рухомих форм сполук азоту (NO_3) – 2,05 мг/100 г ґрунту, рухомого фосфору (P_2O_5) – 7,3 мг/100 г та обмінного калію (K_2O) – 14,0 мг/100 г ґрунту.

Методологія польового дослідження базувалася на вивченні взаємодії різних доз мінеральних добрив та азотфіксатора. Дослідна схема передбачала порівняння цих варіантів із контрольними ділянками (без внесення добрив та із застосуванням лише біопрепарату) на фоні трьох рівнів густоти стояння рослин (табл. 1).

Мінеральне удобрення здійснювали відповідно до схеми польового дослідження з дотриманням встановлених норм внесення. Для цього використовували нітроамофоску ($N_{15}P_{15}K_{15}$) у поєднанні з карбамідом (N_{46}). Добрива, внесені по поверхні ґрунту, загортали культиватором на глибину 10–12 см. У період вегетації кукурудзи, у фазу розвитку 5–6 листків, на варіантах дослідження проводили позакореневе оброблення рослин біопрепаратом у рекомендованій нормі 0,333 кг/га. При цьому норма витрати робочого розчину становила 250 л/га. Догляд за посівами культури був типовим для зони проведення досліджень.

Результати досліджень. Одержання високих і стабільних урожаїв кукурудзи визначається сукупністю показників індивідуальної продуктивності рослин, серед яких ключове значення мають кількість сформованих качанів, вихід зерна з одного качана та інші

Таблиця 1

Схема проведення польового дослідження (2023–2025 рр.)

Варіант системи удобрення	Дози НРК, кг/га д.р	Норма застосування азотфіксатора, кг/га	Густота стояння рослин, тис./га		
			60	70	80
Без добрив (контроль)	–	без обробки	60	70	80
		0,333			
Нітроамофоска + карбамід	$N_{60}P_{45}K_{45}$	без обробки	60	70	80
		0,333			
Нітроамофоска + карбамід	$N_{90}P_{60}K_{60}$	без обробки	60	70	80
		0,333			
Нітроамофоска + карбамід	$N_{120}P_{90}K_{90}$	без обробки	60	70	80
		0,333			
Нітроамофоска + карбамід	$N_{150}P_{120}K_{120}$	без обробки	60	70	80
		0,333			

структурні елементи врожаю. Між цими характеристиками існує тісний взаємозв'язок, що формується під впливом низки чинників. Серед яких вирішальну роль відіграють не лише генетичні та біологічні особливості гібридів, але й умови їх вирощування. Зокрема, рівень реалізації продуктивного потенціалу кукурудзи значною мірою залежить від технологічних прийомів, серед яких особливе місце посідають оптимізація густоти посіву та раціональне застосування добрив.

При проведенні досліджень у 2023–2025 рр. встановлено, що маса зерна з одного качана гібрида кукурудзи Р9255 істотно залежала від поєднання норм мінеральних добрив, застосування азотфіксатора та густоти стояння рослин. Найвищі значення цього показника сформувався за густоти 60 тис. рослин/га. За умов внесення мінеральних добрив у нормі $N_{120}P_{90}K_{90}$ та $N_{150}P_{120}K_{120}$ у поєднанні з позакореневим застосуванням азотфіксатора маса зерна з качана становила 188,6–190,8 г, що перевищувало контрольний варіант без удобрення на 9,8–11,1 % (табл. 2).

Збільшення густоти стояння рослин до 70 тис./га зумовлювало певне зниження індивідуальної продуктивності, однак навіть за таких умов використання біопрепарату забезпечувало вищі структурні показники врожаю, ніж у варіантах без азотфіксатора. Так, приріст маси зерна з качана за застосування біопрепарату на фонах $N_{120}P_{90}K_{90}$ та $N_{150}P_{120}K_{120}$ становив у середньому 1,3–2,8%, тоді як за густоти 80 тис./га він склав 0,9–2,7%.

Важливим показником, що характеризує виповненість зерна та рівень реалізації асиміляційного потенціалу рослин, є маса 1000 насінин. Аналіз експериментальних даних показав наявність обернено пропорційної залежності між густиною стояння рослин і величиною цього показника ($r = -0,98$). Максимальна маса 1000 насінин формувалася за густоти 60 тис. рослин/га на варіантах із внесенням мінеральних добрив у нормі $N_{120}P_{90}K_{90}$ та $N_{150}P_{120}K_{120}$ у поєднанні з азотфіксатором та досягала 347,5–351,0 г, що на 10,2–11,3% перевищувало контроль (табл. 3).

За підвищення густоти стояння до 70 тис./га маса 1000 насінин зменшувалася в середньому на 6,2–10,4 г, а за 80 тис./га – на 11,8–15,8 г, порівняно з аналогічними варіантами за найменшої густоти посіву.

Аналіз урожайності зерна гібрида кукурудзи Р9255 за 2023–2025 рр. засвідчив її суттєву залежність від інтенсивності мінерального живлення та густоти стояння рослин (рис. 1–2). На контрольних ділянках без внесення добрив за густоти 60 тис. рослин/га урожайність становила 10,77 т/га. Впровадження біопрепарату у технологічну схему на фоні мінерального удобрення сприяло стабільному зростанню валового збору зерна. Так, за усередненими даними, застосування підвищених норм мінеральних добрив ($N_{120}P_{90}K_{90}$ і $N_{150}P_{120}K_{120}$) з позакореневим підживленням біопрепаратом забезпечувало додатковий приріст урожайності на рівні 0,42–0,74 т/га, порівняно з відповідними варіантами без його застосування.

Найвищу ефективність інтегрованої системи живлення відмічено за густоти стояння 70 тис. рослин/га, де середня урожайність зерна досягала максимального значення – 14,35 т/га, що відповідало приросту 5,4% відносно аналогічного фону мінерального живлення без біопрепарату. За подальшого збільшення густоти стояння до 80 тис. рослин/га темпи наростання урожайності дещо знижувалися. Це свідчить про досягнення оптимального балансу між кількістю рослин на одиниці площі та рівнем їх індивідуальної продуктивності саме за густоти 70 тис. рослин/га.

Кореляційний аналіз показав наявність тісного прямого зв'язку між нормою внесення мінерального азоту та рівнем урожайності зерна кукурудзи. За варіантів із застосуванням лише мінеральних добрив коефіцієнт кореляції становив $r = 0,93$, тоді як за поєднання мінерального живлення з біопрепаратом відмічено його зростання до $r = 0,94$, що свідчить про підвищення ефективності використання елементів живлення рослинами.

Математичний аналіз одержаних результатів показав, що частка впливу фактору мінерального живлення

Таблиця 2

Маса зерна з качана гібрида кукурудзи Р9255 залежно від системи удобрення та густоти стояння рослин (середнє за 2023–2025 рр.)

Фактор А (варіант удобрення)		Фактор В (Блу N)	60 тис./га	70 тис./га	80 тис./га
Контроль		–	171,80	166,90	161,80
		+ азотфіксатор	176,20	170,80	165,10
$N_{60}P_{45}K_{45}$		–	179,60	173,50	167,60
		+ азотфіксатор	184,10	177,60	171,20
$N_{90}P_{60}K_{60}$		–	182,70	176,20	170,30
		+ азотфіксатор	187,90	180,40	174,50
$N_{120}P_{90}K_{90}$		–	185,40	178,60	172,10
		+ азотфіксатор	190,80	183,70	176,80
$N_{150}P_{120}K_{120}$		–	187,30	176,90	169,90
		+ азотфіксатор	188,60	179,20	171,40
HIP ₀₅	A		2,08	2,51	3,37
	B		1,31	1,59	2,13
	AB		2,94	3,55	4,77

Таблиця 3

Вплив системи удобрення та густоти стояння рослин на формування маси 1000 насінин гібрида P9255 (середнє за 2023–2025 рр.)

Фактор А (варіант удобрення)		Фактор В (Блу N)	60 тис./га	70 тис./га	80 тис./га
Контроль		–	315,2	310,4	305,1
		+ азотфіксатор	321,8	316,9	311,7
N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅		–	324,5	319,2	314,8
		+ азотфіксатор	332,4	327,1	322,5
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀		–	332,1	326,5	321,4
		+ азотфіксатор	340,6	335,2	330,1
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀		–	338,6	332,8	327,3
		+ азотфіксатор	347,5	342	336,4
N ₁₅₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀		–	341,2	335,1	329,5
		+ азотфіксатор	351	344,8	339,2
НІР ₀₅	A		3,42	3,73	4,65
	B		2,16	2,36	2,94
	AB		4,83	5,27	6,58

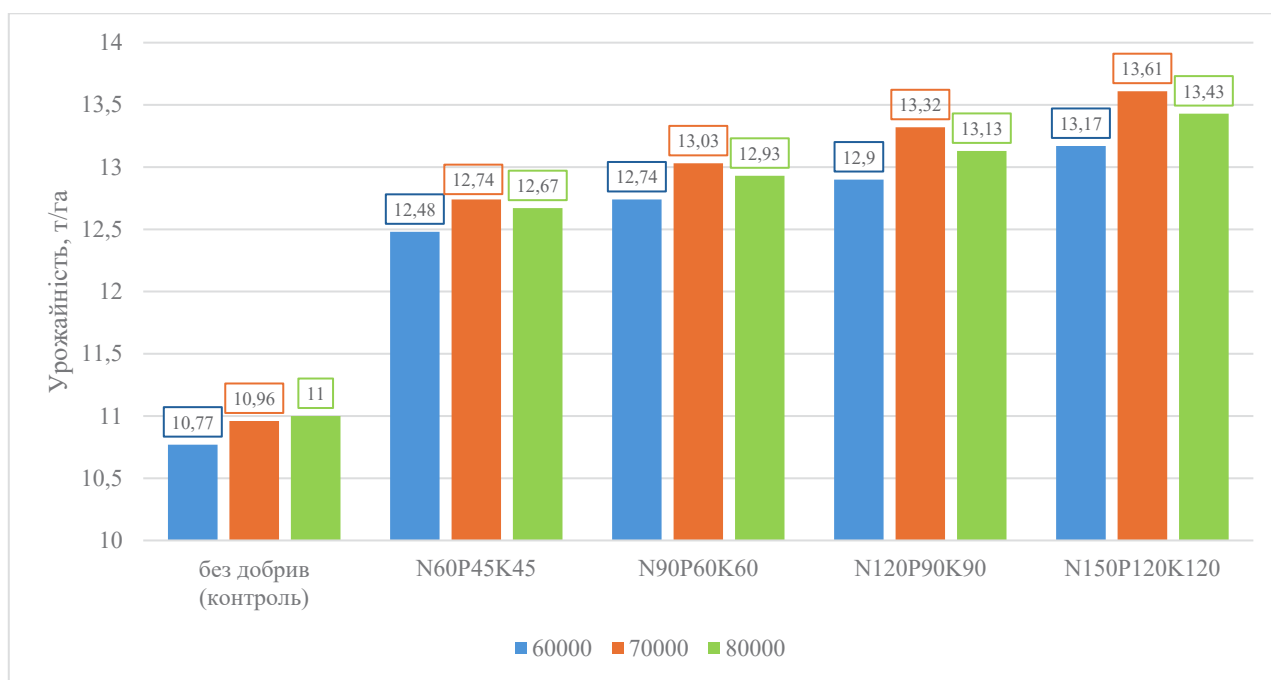


Рис. 1. Урожайність зерна гібрида кукурудзи P9255 залежно від густоти стояння рослин та норм витрати мінерального підживлення (середнє за 2023–2025 рр.)

на формування урожайності зерна кукурудзи сягала 89,1%, тоді як частка впливу застосування біопрепарату становила близько 7%, що підтверджує його роль як додаткового елемента інтенсифікації технології вирощування.

Таким чином, створення оптимальних умов живлення шляхом внесення розрахункових норм мінеральних добрив у поєднанні з інокуляцією біопрепаратом сприяло поліпшенню виповненості зерна та підвищенню показників індивідуальної та загальної продуктивності рослин кукурудзи. Застосування інтегрованої системи живлення забезпечувало ефективнішу реалізацію

асиміляційного потенціалу рослин, що проявлялося у зростанні маси зерна з качана, маси 1000 насінин та рівня урожайності культури.

Висновки. Встановлено, що застосування біопрепарату Блу N у поєднанні з мінеральними добривами позитивно впливало на процеси індивідуальної продуктивності рослин і, відповідно, підвищувало врожайність культури.

Максимальні показники індивідуальної продуктивності рослин гібрида P9255: маса зерна з одного качана на рівні 188,6–190,8 г та маса 1000 насінин 347,5–351,0 г, формувалися за густоти стояння 60 тис.

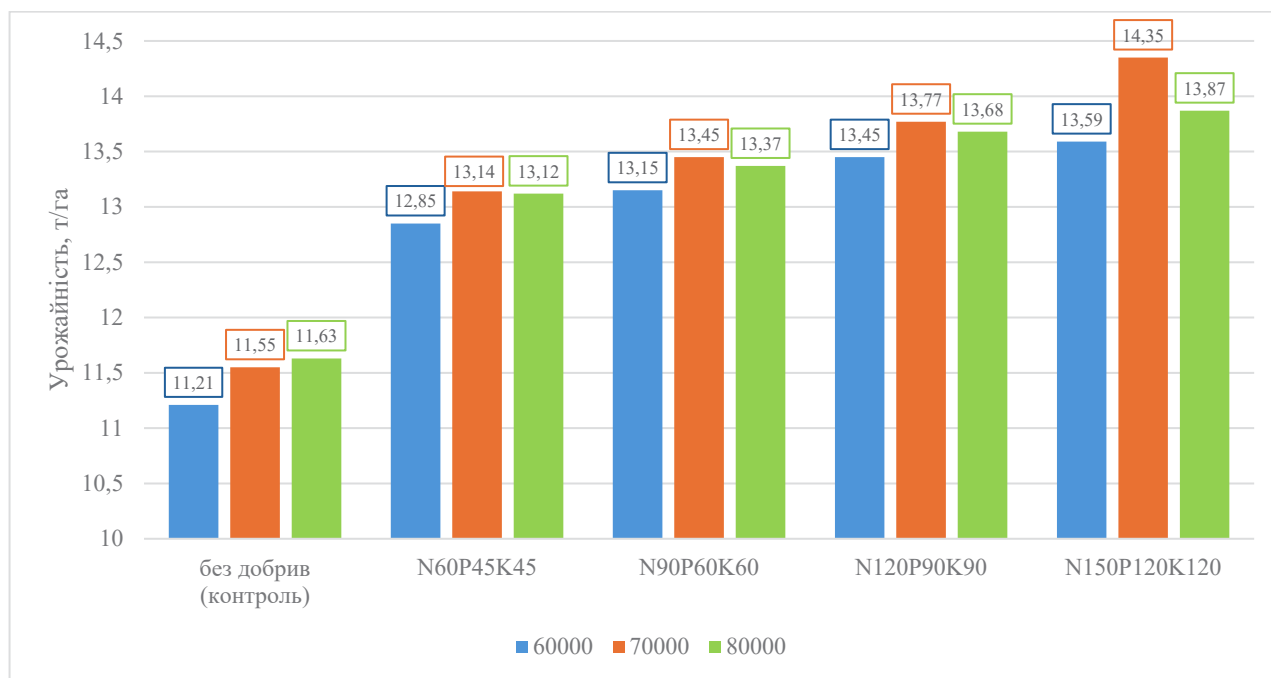


Рис. 2. Урожайність зерна гібрида кукурудзи P9255 залежно від густоти стояння рослин та норм витрати мінерального підживлення із застосуванням азотфіксатору (середнє за 2023–2025 рр.)

рослин/га на фоні внесення мінеральних добрив у нормах $N_{120}P_{90}K_{90}$ та $N_{150}P_{120}K_{120}$ за поєднання із позакореневим застосуванням азотфіксатору, що перевищувало контрольні варіанти без удобрення на 9,8–11,3%.

Результати досліджень свідчать, що застосування лише мінеральних добрив забезпечило приріст урожайності зерна кукурудзи на рівні 15,1–22,3% порівняно з контролем. Найвищу продуктивність серед варіантів без застосування азотфіксатору, яка сягала 13,61 т/га, одержано за максимальної норми живлення $N_{150}P_{120}K_{120}$ та густоти стояння 70 тис./га.

Виявлено, що поєднання мінерального живлення із застосуванням азотфіксатору сприяло зростанню врожайності на 12,8–24,2%, порівняно з відповідним контролем (контроль + азотфіксатор). Найвищий середній показник урожайності у дослідженні, який сягав 14,35 т/га, сформувався у варіанті $N_{150}P_{120}K_{120}$ + азотфіксатор за густоти 70 тис. рослин/га, що підтверджує оптимальне поєднання факторів інтенсифікації.

Застосування біопрепарату забезпечило стабільний середній приріст врожайності на рівні 5,4% (0,74 т/га), порівняно з аналогічними мінеральними фонами, що засвідчує ефективність метилових бактерій у реалізації продуктивного потенціалу гібриду кукурудзи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Milander J. J. Maize Yield and Components as Influenced by Environment and Agronomic Management. Master's Thesis. Lincoln. University of Nebraska. 2015. 118 p. URL: <https://digitalcommons.unl.edu/agronhortdiss/86/> (дата звернення: 15.02.2026).
2. Мокрієнко В.А., Усатий Г.Ю. Особливості засвоєння поживних речовин гібридами кукурудзи. *Землеробство*. 2006. Вип. 78. С. 12–20. URL: [http://](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zemlerobstvo_2006_78_5)

nbuv.gov.ua/UJRN/Zemlerobstvo_2006_78_5 (дата звернення: 26.02.2026).

3. Штукін М.О., Оничко В.І. Особливості підбору гібридів кукурудзи для умов північно-східного Лісостепу України. *Вісник СНАУ*. 2013. № 11. С. 213–217. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vsna_agro_2013_11_53 (дата звернення: 26.02.2026).
4. Дідур І.М., Циганський В.І. Формування зернової продуктивності кукурудзи залежно від застосування мікробіологічного добрива Граундфікс. *Сільське господарство та лісівництво*. 2017. № 7. С. 70–76. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/agf_2017_7%281%29_10 (дата звернення: 25.02.2026).
5. Павліченко К. В., Грабовський М. Б. Формування біометричних показників та накопичення сирової надземної маси гібридами кукурудзи під впливом макро- і мікродобрив. *Таврійський науковий вісник*. 2022. № 123. С. 98–111. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.123.14>
6. Марченко Т., Лавриненко Ю., Пілярська О. Адаптивні гібриди кукурудзи FAO 190–500, що створені для умов зрошення. *Матеріали XIII Міжнародної наукової конференції «Корми і кормовий білок» (06 серпня 2021 року)*. Інститут кормів та сільського господарства Поділля НААН. Вінниця. 2021. С. 22–25. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo2021conf>
7. Грабовський М.Б., Вахній С.П., Лозінський М.В., Панченко Т.В., Басюк П.Л. Зернова продуктивність гібридів кукурудзи залежно від застосування комплексних мінеральних добрив. *Агробіологія*. 2021. № 2. С. 33–42. URL: https://agrobiologiya.btsau.edu.ua/sites/default/files/visnyku/agrobiologiya/grabovskiy_2_2021-33-42.pdf (дата звернення: 25.02.2026).
8. Жемела Г.П., Бараболя О.В., Ляшенко В.В., Ляшенко Є.С., Подоляк В.А. Густота рослин –

- фактор для одержання високих врожаїв. Стійкий розвиток сільських територій у контексті реалізації державної екологічної політики та енергозбереження : кол. моногр., за заг. ред. Т. О. Чайки. Полтава : Видавництво ПП «Астроя», 2021. С. 49–56. URL: <https://www.researchgate.net/profile/Tetiana-Chaika-3/publication/371102178.pdf> (дата звернення: 25.02.2026).
9. Іванів М.О., Сидякіна О.В., Гамула Є.А. Вплив умов зволоження, біологічних особливостей гібридів і густоти стояння рослин на вміст сирого протеїну в зерні кукурудзи. *Український журнал природничих наук*. № 13. С. 273–281. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.25>.
 10. Григор'єва О.М., Григор'єва М.І. Мікробні препарати у технології вирощування кукурудзи на зерно в Північному Степу України. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. Вип. 76. Ч. 1. 2011. С. 18–24. URL: <https://lib.udau.edu.ua/server/api/core/bitstreams/27d8de30-602d-46fc-9f92-a085d8e953c8/content> (дата звернення: 25.02.2026).
 11. Марченко Т. Ю., Лавриненко Ю. О., Кирпа М. Я., Стасів О.Ф. Ефективність застосування біопрепаратів під час вирощування ліній–батьківських компонентів гібридів кукурудзи за різної густоти рослин в умовах краплинного зрошення. *Аграрні інновації*. 2021. № 5. С. 135–142. DOI:10.32848/agrar.innov.2021.5.22
 12. Марченко Т. Ю., Лавриненко Ю. О. Прояв і мінливість маси 1000 зерен у ліній батьківських компонентів та гібридів кукурудзи за використання різних генетичних плазм в умовах зрошення. *Зрошуване землеробство*. 2020. № 73. С. 179–184. <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2020.73.35>
 13. Kolisnyk O. M. The resistance of corn self-pollinated lines and hybrids to major diseases and pests in the conditions of the right-bank Forest-Steppe of Ukraine. *Scientific Progress & Innovations*. 2019. № 2. P. 53–60. <https://doi.org/10.31210/visnyk2019.02.06>
 14. Piatí Luiz G., Ferreira de Lima S., Lustosa Sobrinho R. et al. Biostimulants in Corn Cultivation as a Means to Alleviate the Impacts of Irregular Water Regimes Induced by Climate Change. *Plants*. 2023. Vol. 12, No. 13. P. 2569. <https://doi.org/10.3390/plants12132569>
 15. Torres Vera R., Bernabé García A.J., Carmona Álvarez F.J. et al. Application and effectiveness of *Methylobacterium symbioticum* as a biological inoculant in maize and strawberry crops. *Folia Microbiologica*. 2024. Vol. 69. P. 121–131. DOI: 10.1007/s12223-023-01078-4.
 16. Rodrigues M.A., 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. P. 1–15. DOI: 10.3390/plants13202909.
 17. Bolla P.K., Panozzo A., Minozzi E., Valente F., Potestio S., Visioli G., Martínez-Sánudo 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. *Frontiers in Plant Science*. 2025. Vol. 16. P. 1–20. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1661290>
 18. Drulis, P., Kriaučiūnienė, Z., Liakas, V. The Influence of Different Nitrogen Fertilizer Rates, Urease Inhibitors and Biological Preparations on Maize Grain Yield and Yield Structure Elements. *Agronomy*. 2022. Vol. 12, No. 3. P. 1–15. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030741>
 19. Лісовал А. П. Методи агрохімічних досліджень. Київ : Вид-во НАУ, 2001. 247 с.
 20. Ушкаренко В. О., Вожегова П. А., Голобородько С. П., Коковіхін С. В. Методика польового дослідження (Зрошуване землеробство). Херсон: Олді+, 2014. 448 с.

REFERENCES:

1. Milander, J. J. (2015). Maize yield and components as influenced by environment and agronomic management. University of Nebraska. P. 118. URL: <https://digitalcommons.unl.edu/agronhortdiss/86/>
2. Mokriienko, V. A., & Usatyi, H. Iu. (2006). Osoblyvosti zasvoiennia pozhyvnykh rehovyn hibrydamy kukurudzy [Features of nutrient uptake by maize hybrids]. *Zemlerobstvo*, 78, 12–20. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zemlerobstvo_2006_78_5 [in Ukrainian].
3. Shtukin, M. O., & Onychko, V. I. (2013). Osoblyvosti pidboru hibrydiv kukurudzy dlia umov pivnichno-skhidnoho Lisostepu Ukrainy [Peculiarities of selection of maize hybrids for the conditions of the north-eastern Forest-Steppe of Ukraine]. *Visnyk SNAU*, (11), 213–217. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vsna_agro_2013_11_53 [in Ukrainian].
4. Didur, I. M., & Tsyhanskyi, V. I. (2017). Formuvannia zernovoi produktyvnosti kukurudzy zalezno vid zastosuvannia mikrobiolohichnoho dobryva Hraundfiks [Formation of corn grain productivity depending on the use of microbiological fertilizer Groundfix]. *Sil'ske hospodarstvo ta lisivnytstvo*, (7), 70–76. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/agf_2017_7%281%29__10 [in Ukrainian].
5. Pavlichenko, K. V., & Hrabovskiy, M. B. (2022). Formuvannia biometrychnykh pokaznykiv ta nakopychennia syroi nadzemnoi masy hibrydamy kukurudzy pid vplyvom makro- i mikro-dobryv [Formation of biometric indicators and accumulation of raw ground mass by maize hybrids under the influence of macro- and micro-fertilizers]. *Tavriiskiyi naukoviyi visnyk*, (123), 98–111. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.123.14> [in Ukrainian].
6. Marchenko T., Lavrynenko Yu., & Piliarska O. (2021). Adaptivni hibrydy kukurudzy FAO 190–500, shcho stvoreni dlia umov zroshennia [Adaptive maize hybrids FAO 190–500 created for irrigation conditions]. *Materialy XIII Mizhnarodnoi naukovoï konferentsii «Kormy i kormovy bilok»*. *Instytut kormiv ta silskoho hospodarstva Podillia NAAN. Vinnytsia*, (pp. 22–25). <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo2021conf> [in Ukrainian].
7. Hrabovskiy, M. B., Vakhnii, S. P., Lozinskyi, M. V., Panchenko, T. V., & Basiuk, P. L. (2021). Zernova produktyvnist hibrydiv kukurudzy zalezno vid zastosuvannia kompleksnykh mineralnykh dobryv [Grain productivity of maize hybrids depending on the use of complex mineral fertilizers]. *Ahrobiolohiia*, (2), 33–42. URL: https://agrobiologiya.btsau.edu.ua/sites/default/files/visnyky/agrobiologiya/grabovskiy_2_2021-33-42.pdf [in Ukrainian].

8. Zhemela, H. P., Barabolia, O. V., Liashenko, V. V., Liashenko, Ye. S., & Podoliak, V. A. (2021). Hustota roslyn – faktor dlia oderzhannia vysokikh vrozhaiv. Stiikiy rozvytok silskykh terytorii u konteksti realizatsii derzhavnoi ekolohichnoi polityky ta enerhozberezhennia: kolektyvna monohrafiia za zahalnoi redaktsiiei T. O. Chaiky [Plant density is a factor for obtaining high yields. Sustainable development of rural areas in the context of the implementation of state environmental policy and energy saving: collective monograph edited by T. O. Chaika]. Poltava: Vydavnytstvo PP «Astrai», 49–56. URL: <https://www.researchgate.net/profile/Tetiana-Chaika-3/publication/371102178.pdf> [in Ukrainian].
9. Ivaniv, M. O., Sydiakina, O. V., & Hamula, Ye. A. (2025). Vplyv umov zvolozhennia, biolohichnykh osoblyvostei hibrydiv i hustoty stoiannia roslyn na vmist syroho proteinu v zerni kukurudzy [Influence of moisture conditions, biological characteristics of hybrids and plant density on crude protein content in corn grain]. *Ukrainskyi zhurnal pryrodnychuykh nauk*, (13), 273–281. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.25> [in Ukrainian].
10. Hryhorieva, O. M., & Hryhorieva M. I. (2011). Mikrobnii preparaty u tekhnolohii vyroshchuvannia kukurudzy na zerno v Pivnichnomu Stepu Ukrainy [Microbial preparations in the technology of growing corn for grain in the Northern Steppe of Ukraine]. *Zbirnyk naukovykh prats Umanskoho natsionalnoho universytetu sad-ivnytstva*, 76(1), 18–24. URL: <https://lib.udau.edu.ua/server/api/core/bitstreams/27d8de30-602d-46fc-9f92-a085d8e953c8/content> [in Ukrainian].
11. Marchenko, T. Yu., Lavrynenko, Yu. O., Kyrpa, M. Ya., & Stasiv, O. F. (2021). Efektyvnist zastosuvannia biopreparativ pid chas vyroshchuvannia liniy–batkivskykh komponentiv hibrydiv kukurudzy za riznoi hustoty roslyn v umovakh kraplynnoho zroshennia [Efficiency of biopreparations use during cultivation of parental components of maize hybrids]. *Ahrarni innovatsii*, (5), 135–142. DOI:10.32848/ahrr.2021.5.22 [in Ukrainian].
12. Marchenko, T. Yu., & Lavrynenko, Yu. O. (2020). Proiav i minlyvist masy 1000 zeren u linii batkivskykh komponentiv ta hibrydiv kukurudzy za vykorystannia riznykh henetychnykh plazm v umovakh zroshennia [Manifestation and variability of 1000–kernel weight in lines of parental components and maize hybrids using different genetic plasms under irrigation]. *Zroshuvane zemlerobstvo*, (73), 179–184. <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2020.73.35> [in Ukrainian].
13. Kolisnyk O. M. The resistance of corn self-pollinated lines and hybrids to major diseases and pests in the conditions of the right-bank Forest–Steppe of Ukraine. *Scientific Progress & Innovations*. 2019. № 2. P. 53–60. <https://doi.org/10.31210/visnyk2019.02.06>
14. Piaty, G. L., Ferreira de Lima, S., et al. (2023). Biostimulants in corn cultivation as a means to alleviate the impacts of irregular water regimes induced by climate change. *Plants*, 12(13), 2569. <https://doi.org/10.3390/plants12132569>
15. Torres Vera, R., Bernabé García, A. J., et al. (2024). Application and effectiveness of *Methylobacterium symbioticum* as a biological inoculant in maize. *Folia Microbiologica*, 69, 121–131. DOI: 10.1007/S12223-023-01078-4.
16. Rodrigues, M. A., Correia, C. M., & Arrobas, M. (2024). 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*, 13(20), 2909. DOI: 10.3390/plants13202909.
17. Bolla, P. K., Panozzo, A., Minozzi, E., et al. (2025). Effects of foliar-sprayed bio-fertilizer with N-fixing *Methylobacterium symbioticum* on morpho-physiological traits of maize under varying N fertilization rates. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1–20. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1661290>
18. Drulis, P., Kriaučiūnienė, Z., & Liakas, V. (2022) The influence of different nitrogen fertilizer rates, urease inhibitors and biological preparations on maize grain yield and yield structure elements. *Agronomy*, 12(3), P. 1–15. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030741>
19. Lisoval, A. P. (2001). *Metody ahrokhimichnykh doslidzhen [Methods of agrochemical research]*. NAU, 247 [in Ukrainian].
20. Ushkarenko, V. O., Vozhehova, R. A., Holoborodko, S. P., & Kokovikhin, S. V. (2014). *Metodyka polovoho doslidu (Zroshuvane zemlerobstvo) [Field experiment methodology (Irrigated agriculture)]*. Kherson: Oldi-plus, 448 [in Ukrainian].

Антоненко О.О., Довгеля О.М. Формування структури врожаю кукурудзи за поєднання мінерального та біологічного живлення в Центральному Лісостепу

Мета. Встановити вплив поєднання мінеральних добрив та біопрепарату Блу N за різної густоти стояння рослин на формування елементів структури врожаю та урожайність кукурудзи в умовах Центрального Лісостепу України. **Методи.** Дослідження проводили впродовж 2023–2025 рр. на базі СТОВ «Любарецьке» Київської області на посівах кукурудзи гібриду P9255 (ФАО 330). Площа облікової ділянки становила 33 м², дослід закладали з чотирикратною повторністю, розміщення варіантів – послідовне багаторусне. Схема досліду передбачала застосування різних норм мінеральних добрив (N₆₀P₄₅K₄₅, N₉₀P₆₀K₆₀, N₁₂₀P₉₀K₉₀, N₁₅₀P₁₂₀K₁₂₀) у поєднанні з позакореневим внесенням біопрепарату на основі азотфіксуючої бактерії *Methylobacterium symbioticum* у фазу 5–6 листків, а також варіювання густоти стояння рослин (60, 70 та 80 тис. рослин/га). **Результати.** Встановлено, що інтегрована система живлення позитивно впливала на показники індивідуальної продуктивності рослин, зокрема масу зерна з одного качана, масу 1000 насінин та загальну урожайність культури. Найвищі значення маси зерна з качана (188,6–190,8 г) та маси 1000 насінин (347,5–351,0 г) сформувалися за густоти 60 тис. рослин/га на фоні внесення мінеральних добрив у нормах N₁₂₀P₉₀K₉₀ та N₁₅₀P₁₂₀K₁₂₀ за сумісного застосування біопрепарату, що перевищувало контрольні варіанти без удобрення на 9,8–11,3 %. Підвищення густоти стояння до 70 тис. рослин/га забезпечувало оптимальний баланс між кількістю рослин і рівнем їх індивідуальної продуктивності, що сприяло досягненню найбільшої урожайності зерна – 13,61 т/га у варіанті N₁₅₀P₁₂₀K₁₂₀. При цьому використання мінеральних добрив у комплексі з біопрепаратом дозволило сформувати урожайність, що була на 12,8–24,2 % вищою, порівняно з відповідним контролем на фоні дії препарату. **Висновки.** Максимальний середній результат урожайності за роки проведення досліджень, який сягав 14,35 т/га, було

одержано саме у варіанті $N_{150}P_{120}K_{120}$ + азотфіксатор. Загалом, за рахунок поєднання біопрепарату із мінеральною системою живлення було отримано у середньому на 5,4 % (або 0,74 т/га) вищу продуктивність кукурудзи, порівняно з аналогічними фонами без його застосування.

Ключові слова: зернова продуктивність, маса 1000 насінин, азотфіксуючі бактерії, густина стояння рослин, гібрид P9255, інтегрована система удобрення.

Antonenko O.O., Dovhelia O.M. Formation of maize yield structure under combined mineral and biological nutrition in the Central Forest–Steppe

Purpose. To determine the effect of the combined application of mineral fertilizers and the biopreparation Blu N under different plant densities on the formation of yield structure elements and grain yield of maize under the conditions of the Central Forest–Steppe of Ukraine. **Methods.** The research was conducted during 2023–2025 at the «Lyubaretske» LLC (Kyiv region) on maize hybrid P9255 (FAO 330). The area of the research plot was 33 m²; the experiment was established with four replications and a sequential multi-tier arrangement of treatments. The experimental design included the application of different rates of mineral fertilizers ($N_{60}P_{45}K_{45}$, $N_{90}P_{60}K_{60}$, $N_{120}P_{90}K_{90}$, $N_{150}P_{120}K_{120}$) in combination with foliar application of the biopreparation based on the nitrogen-fixing bacterium

Methylobacterium symbioticum at the 5–6 leaf stage under different plant densities (60, 70 and 80 thousand plants per hectare). **Results.** It was established that the integrated nutrition system had a positive effect on individual plant productivity indicators, including grain weight per ear, thousand kernel weight and overall grain yield. The highest grain weight per ear (188.6–190.8 g) and thousand kernel weight (347.5–351.0 g) were recorded at a plant density of 60 thousand plants per hectare under the application of mineral fertilizers at rates of $N_{120}P_{90}K_{90}$ and $N_{150}P_{120}K_{120}$ combined with nitrogen fixer, exceeding the unfertilized control by 9.8–11.3 %. An increase in plant density to 70 thousand plants per hectare ensured an optimal balance between plant number and individual productivity, resulting in the highest grain yield of 13.61 t/ha in the $N_{150}P_{120}K_{120}$ variant. The combined use of mineral fertilizers with nitrogen fixer increased grain yield by 12.8–24.2 % compared to the corresponding control. **Conclusions.** The maximum average grain yield over the years of study (14.35 t/ha) was obtained in the variant with $N_{150}P_{120}K_{120}$ + nitrogen fixer at this plant density. Overall, the integration of the biopreparation into the mineral nutrition system increased maize productivity by 5.4 % (0.74 t/ha) on average compared to similar treatments without nitrogen fixer application.

Key words: grain productivity, thousand kernel weight, nitrogen-fixing bacteria, plant density, hybrid P9255, integrated fertilization system.

Дата першого надходження статті до видання: 29.04.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 22.05.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.05.2026