

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ ЖИВЛЕННЯ ТА ГУСТОТИ ПОСІВУ ЯК ФАКТОР ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЗЕРНА КУКУРУДЗИ

АНТОНЕНКО О.О. – аспірант кафедри рослинництва,

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

Національний університет біоресурсів і природокористування України

БАЧИНСЬКИЙ О.В. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент

orcid.org/0009-0006-7000-0358

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Постановка проблеми. Якість зерна кукурудзи, як і її врожайність, є одним із ключових показників, що характеризують ефективність технології її вирощування. Саме від якісних характеристик отриманого зерна залежить напрям і доцільність його подальшого використання. На якісні показники зерна кукурудзи суттєво впливають окремі елементи технології її вирощування. Незважаючи на те, що кожен гібрид має генетично зумовлені характеристики якості, процес їх реалізації від моменту сівби до досягання є тривалим [8]. Тому умови та технологічні прийоми вирощування можуть істотно впливати на формування якісних показників зерна кукурудзи.

Критерії оцінювання якості зерна кукурудзи визначаються насамперед напрямом його подальшого використання. Так, для виробництва біоетанолу основним показником є високий вміст крохмалю, оскільки саме він є сировиною для отримання спирту. У разі використання зерна на кормові та харчові цілі важливого значення набувають показники вмісту протеїну та жиру, які визначають його поживну та харчову цінність [4]. Кукурудза є одною з провідних зернових культур України, головними показниками якості зерна якої є вміст крохмалю та сирого протеїну [7]. Якість зерна визначається генотипом гібриду, густотою стояння рослин і рівнем мінерального живлення. Збільшення густоти підвищує вміст крохмалю, але знижує концентрацію протеїну [17]. Тоді як азотне живлення значною мірою визначає білковість зерна [16]. Дослідженнями в умовах Лісостепу України підтверджено залежність якості зерна від удобрення, густоти та особливостей гібрида [9], однак питання оптимізації густоти й мінерально-біологічного живлення із застосуванням азотфіксуювальних біопрепаратів для гібридів різних груп стиглості залишаються недостатньо вивченими.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні фахові джерела та результати наукових досліджень останніх років підтверджують, що раціональне регулювання азотного живлення гарантує значне збільшення продуктивності кукурудзи в межах 20–40 %, а впровадження інтенсивних технологій забезпечує ще більші показники приросту [12].

Одним із важливих критеріїв оцінювання якості зерна кукурудзи є вміст сирого протеїну [3]. Рівень його накопичення значною мірою залежить від генотипових особливостей гібридів, які характеризуються різною інтенсивністю білкового обміну та здатністю формувати врожай за неоднакових умов вирощування. На вміст сирого протеїну в зерні також впливають тривалість вегетаційного періоду, ефективність поглинання й використання азоту рослинами, а також їхня стійкість до несприятливих факторів довкілля.

Водночас реакція різних гібридів на стресові умови може істотно відрізнятися, що проявляється, зокрема, у зміні спектра білкових маркерів. Окремі генотипи здатні зберігати відносно стабільний білковий профіль навіть за повторюваних періодів дефіциту вологи. Це може свідчити про вищу адаптивність таких гібридів та їхню здатність підтримувати основні фізіолого-біохімічні процеси за умов посухи, попри загальне зниження ферментативної активності в рослинних тканинах [15]. За результатами наукових досліджень, застосування мінеральних добрив сприяє істотному підвищенню продуктивності кукурудзи, приріст урожайності при цьому може становити 30–50 % [13]. За даними А. М. Влащука, О. С. Колпакової та О. П. Конащук, формування якісних показників зерна кукурудзи в умовах зрошення Степу Півдня України значною мірою визначається генотиповими особливостями гібридів, строками сівби та густотою стояння рослин. У результаті проведених досліджень максимальний вміст білка (9,39 %) встановлено у зерні ранньостиглого гібриду Тендра, найвищу частку крохмалю (71,16 %) – у середньостиглого гібриду Каховський, тоді як найбільший вміст жиру (3,94 %) відзначено у середньораннього гібриду Скадовський [1]. Результати досліджень щодо впливу різних факторів інтенсифікації на якісні показники зерна кукурудзи висвітлено в низці публікацій [2]. Китайські дослідники зазначають, що максимальне накопичення білка в зерні кукурудзи відбувається лише за оптимальної щільності посівів та збалансованого забезпечення рослин елементами живлення. Сумісне внесення азоту, калію та амінокислот стимулює активність нітратредуктази (NR) та



глутамінсинтетази (GS), що позитивно впливає на накопичення протеїну в зерні кукурудзи [18].

Мета – визначити особливості формування якісного хімічного складу зерна гібридів кукурудзи, а саме вмісту протеїну та крохмалю, під впливом варіювання густоти стояння рослин та комбінованої системи живлення, що передбачає поєднання різних норм мінеральних добрив із позакореневою обробкою біопрепаратом-азотфіксатором Блу N (*Methylobacterium symbioticum*) в агрокліматичних умовах Центрального Лісостепу України.

Матеріали та методика досліджень. Польові дослідження проводились протягом 2024–2026 рр. на базі СТОВ «Любарецьке» (Бориспільський р-н, Київська обл.) згідно із загальноприйнятими методиками [6].

Дослідження проводили на посівах гібридів кукурудзи Р9255 (ФАО 330) та Р8436 (ФАО 260). Закладання польового дослідження виконували в чотирикратній повторності за послідовного багаторядного розміщення варіантів. Площа облікової ділянки становила 33 м². Ґрунтовий покрив дослідного поля представлений чорноземом опідзоленим малогумусним із вмістом гумусу 3,8 %, вмістом рухомих форм NO₃⁻ 2,05 мг/100 г ґрунту, Р₂О₅ 7,3 мг/100 г, К₂О 14,0 мг/100 г, рН 6,2, щільністю ґрунту 1,2 г/см³. Агротехніка вирощування кукурудзи була загальноприйнятною для зони Лісостепу України, за винятком елементів, що вивчали під час експерименту.

Методологія польового дослідження передбачала комплексне вивчення впливу трьох факторів: густоти стояння рослин (60, 70 та 80 тис. шт./га), системи мінерального живлення (N₆₀P₄₅K₄₅, N₉₀P₆₀K₆₀, N₁₂₀P₉₀K₉₀ та N₁₅₀P₁₂₀K₁₂₀)

і позакореневого підживлення у фазі 5–6 листків біологічним препаратом на основі азотфіксуючих бактерій *Methylobacterium symbioticum* (Блу N) у нормі 333 г/га. Контрольними були варіанти без застосування добрив, а також варіанти із застосуванням лише біологічного препарату за відповідної густоти стояння рослин.

Схема проведення польового дослідження. Фактор А – гібриди кукурудзи: 1) Р9255 (ФАО 330); 2) Р8436 (ФАО 260). Фактор В – густота стояння рослин: 1) 60 тис. /га; 2) 70 тис./га; 3) 80 тис./га. Фактор С – система удобрення: 1) Без добрив; 2) Без добрив + азотфіксатор (0,333 кг/га); 3) N₆₀P₄₅K₄₅; 4) N₆₀P₄₅K₄₅ + азотфіксатор (0,333 кг/га); 5) N₉₀P₆₀K₆₀; 6) N₉₀P₆₀K₆₀ + азотфіксатор (0,333 кг/га); 7) N₁₂₀P₉₀K₉₀; 8) N₁₂₀P₉₀K₉₀ + азотфіксатор (0,333 кг/га); 9) N₁₅₀P₁₂₀K₁₂₀; 10) N₁₅₀P₁₂₀K₁₂₀ + азотфіксатор (0,333 кг/га).

Результати досліджень. Аналіз зразків, відібраних у 2024–2026 рр., засвідчив, що вміст і вихід крохмалю із зерна гібридів кукурудзи змінювалися залежно від густоти стояння рослин, рівня мінерального і біологічного живлення та групи стиглості гібридів. При цьому характер зміни показників був неоднаковим: вміст крохмалю в зерні змінювався у відносно вузьких межах, тоді як його вихід з одиниці площі більшою мірою визначався продуктивністю посіву. У гібрида Р8436 вміст крохмалю за досліджуваних варіантів становив 70,90–73,30 %, а вихід складав 7,05–10,19 т/га (рис. 1).

У середньостиглого гібрида Р9255 відповідні показники змінювалися в межах 70,15–72,50 % та 7,56–10,18 т/га (рис. 2). Отже, за середніми значеннями досліджувані гібриди характеризувалися близькою крохмалистістю

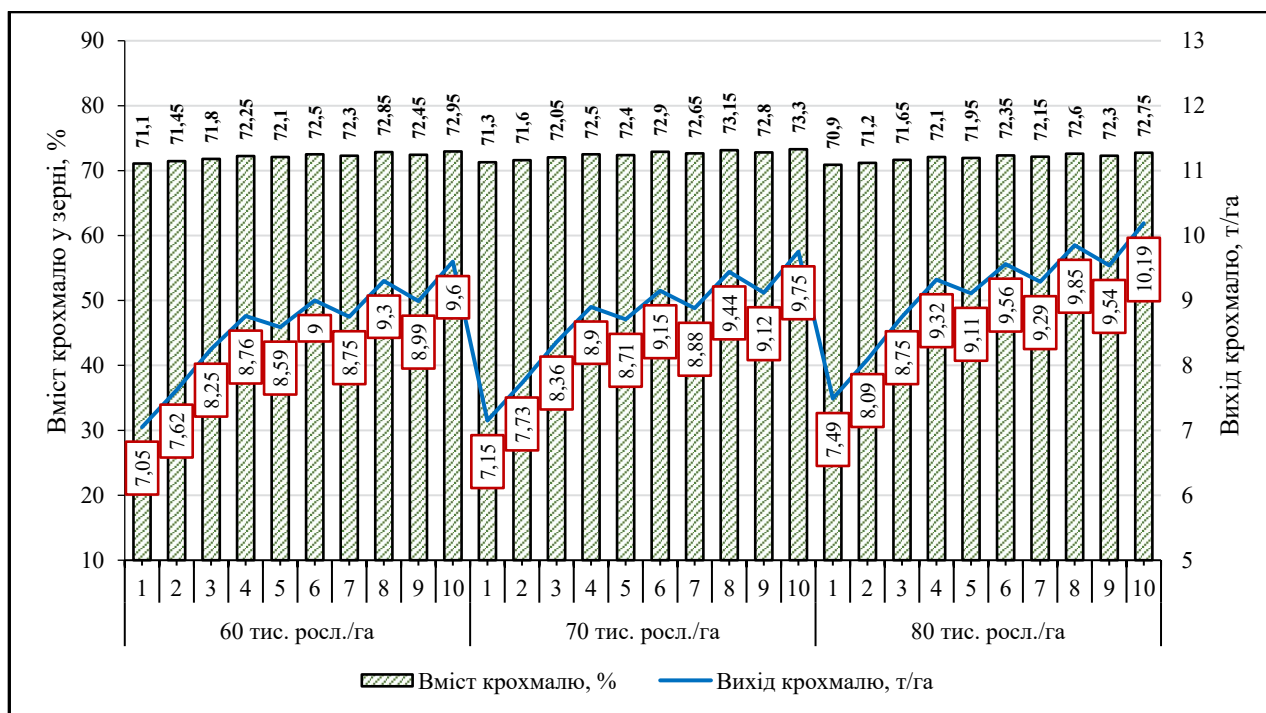


Рис. 1. Вміст та вихід крохмалю із зерна гібрида кукурудзи Р8436 залежно від густоти стояння рослин та варіантів удобрення (2024–2026 рр.)

Примітка: * 1-Без добрив; 2-Без добрив + азотфіксатор; 3-N₆₀P₄₅K₄₅; 4- N₆₀P₄₅K₄₅ + азотфіксатор; 5-N₉₀P₆₀K₆₀; 6-N₉₀P₆₀K₆₀ + азотфіксатор; 7-N₁₂₀P₉₀K₉₀; 8-N₁₂₀P₉₀K₉₀ + азотфіксатор; 9) N₁₅₀P₁₂₀K₁₂₀; 10) N₁₅₀P₁₂₀K₁₂₀ + азотфіксатор (0,333 кг/га).

зерна, однак їх реакція на поєднання густоти посіву та удобрення відрізнялася.

Для гібрида Р8436 за густоти 60 тис. росл./га вміст крохмалю перебував у межах 71,10–72,95 %, тоді як вихід становив 7,05–9,60 т/га. Зокрема, на контрольному варіанті (без добрив) ці показники становили 71,10 % і 7,05 т/га, тоді як на фоні внесення $N_{60}P_{45}K_{45}$ із застосуванням азотфіксатора вміст крохмалю зростав до 72,25 %, а його вихід сягав 8,76 т/га.

Підвищення густоти до 70 тис. росл./га супроводжувалося зростанням вмісту крохмалю в більшості варіантів до 71,30–73,30 %, а його виходу – до 7,15–9,75 т/га. Так, на варіанті $N_{120}P_{90}K_{90}$ із азотфіксатором за цієї густоти вміст крохмалю досягав 73,15 %, а вихід збільшувався до 9,44 т/га порівняно з 71,30 % і 7,15 т/га на контролі.

За подальшого збільшення густоти до 80 тис. росл./га вміст крохмалю змінювався залежно від системи удобрення та становив 70,90–72,75 %, проте вихід крохмалю зростав до 7,49–10,19 т/га. Найвищий вихід крохмалю у Р8436 (10,19 т/га) сформувався за густоти 80 тис. росл./га, внесення $N_{150}P_{120}K_{120}$ та застосування азотфіксатора. Вміст крохмалю у цьому варіанті становив 72,75 %. Таким чином, поєднання мінеральних добрив із біологічним препаратом сприяло підвищенню виходу крохмалю з одиниці площі. Найвищі значення цього показника формувалися при використанні підвищених норм мінеральних добрив $N_{120}P_{90}K_{90}$ та $N_{150}P_{120}K_{120}$ у поєднанні з азотфіксатором. Водночас зміни вмісту крохмалю в зерні були менш вираженими, ніж зміни його виходу з одиниці площі. Це свідчить про те, що збільшення

виходу крохмалю значною мірою було пов'язане зі зростанням продуктивності посіву.

У гібрида Р9255 діапазон варіювання показників був дещо вужчим за вмістом крохмалю – 70,15–72,50 %, тоді як вихід крохмалю змінювався від 7,56 до 10,18 т/га. Зокрема, на контрольному варіанті за густоти 60 тис. росл./га вміст і вихід крохмалю становили 70,20 % і 7,56 т/га. За інтенсивного живлення $N_{150}P_{120}K_{120}$ + азотфіксатор максимальний вихід крохмалю у Р9255 (10,18 т/га за вмісту 72,50 %) формувалася за густоти 70 тис. росл./га, тоді як за густоти 80 тис. росл./га вміст і вихід крохмалю становили відповідно 71,90 % і 9,97 т/га.

Одним із важливих показників якості зерна кукурудзи є вміст сирого протеїну, який характеризує його кормову цінність. За результатами досліджень, проведених у 2024–2026 рр., встановлено, що накопичення сирого протеїну в зерні гібридів Р8436 та Р9255 змінювалося залежно від густоти стояння рослин і рівня удобрення. У зерні гібрида Р8436 вміст сирого протеїну за досліджуваними варіантами становив 8,35–10,05 % (рис. 3), тоді як у гібрида Р9255 складав 8,65–10,35 % (рис. 4).

Порівняння варіантів удобрення показало залежність вмісту сирого протеїну від рівня мінерального живлення. Кореляційний аналіз підтвердив тісний позитивний зв'язок між рівнем азотного живлення та вмістом сирого протеїну в зерні. Коефіцієнт кореляції становив $r = 0,90$ для гібрида Р8436 та $r = 0,91$ для Р9255, що свідчить про високу залежність накопичення сирого протеїну від рівня мінерального живлення. Водночас зв'язок між густотою стояння рослин і вмістом сирого протеїну був слабким

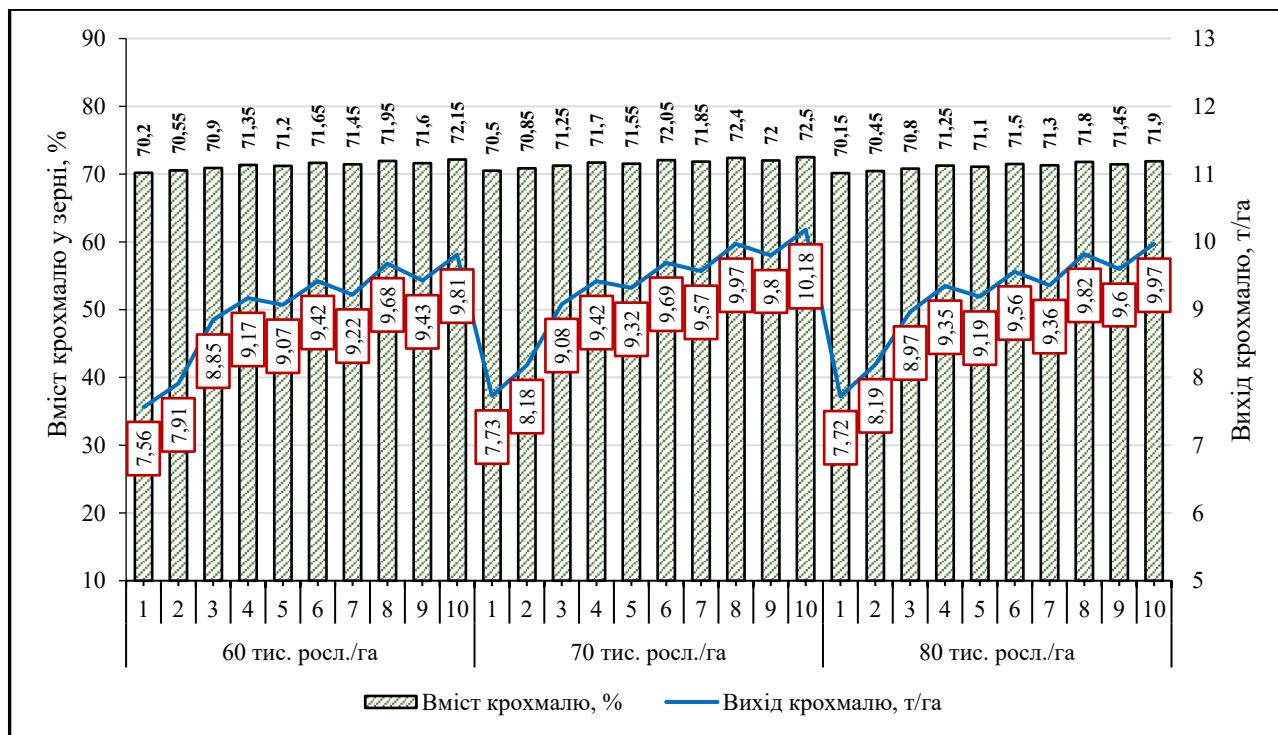


Рис. 2. Вміст та вихід крохмалю із зерна гібрида кукурудзи Р9255 залежно від густоти стояння рослин та варіантів удобрення (2024–2026 рр.)

Примітка: * 1-Без добрив; 2-Без добрив + азотфіксатор; 3- $N_{60}P_{45}K_{45}$; 4- $N_{60}P_{45}K_{45}$ + азотфіксатор; 5- $N_{90}P_{60}K_{60}$ + азотфіксатор; 6- $N_{90}P_{60}K_{60}$ + азотфіксатор; 7- $N_{120}P_{90}K_{90}$; 8- $N_{120}P_{90}K_{90}$ + азотфіксатор; 9) $N_{150}P_{120}K_{120}$; 10) $N_{150}P_{120}K_{120}$ + азотфіксатор (0,333 кг/га).

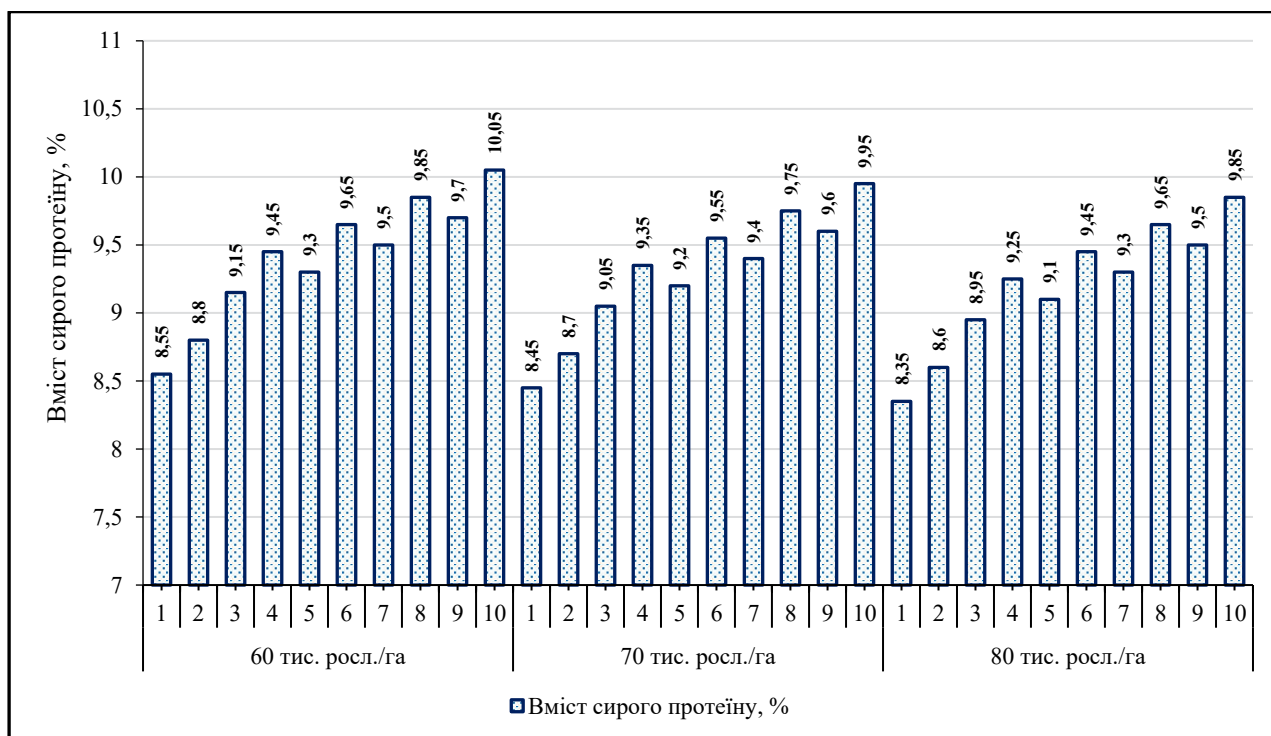


Рис. 3. Динаміка вмісту сирого протеїну (%) у зерні гібрида P8436 залежно від варіантів удобрення та густоти посіву

Примітка: * 1-Без добрив; 2-Без добрив + азотфіксатор; 3- $N_{60}P_{45}K_{45}$; 4- $N_{60}P_{45}K_{45}$ + азотфіксатор; 5- $N_{90}P_{60}K_{60}$; 6- $N_{90}P_{60}K_{60}$ + азотфіксатор; 7- $N_{120}P_{90}K_{90}$; 8- $N_{120}P_{90}K_{90}$ + азотфіксатор; 9) $N_{150}P_{120}K_{120}$; 10) $N_{150}P_{120}K_{120}$ + азотфіксатор (0,333 кг/га).

і мав від'ємний характер ($r = -0,23$ та $r = -0,18$ відповідно), що узгоджується з тенденцією до зниження концентрації протеїну за збільшення густоти посіву. На контрольному варіанті показник був найнижчим, тоді як із підвищенням норм мінеральних добрив його значення зростали. Додаткове застосування азотфіксатора посилювало цю тенденцію. Найвищий вміст сирого протеїну за густоти 60 тис. росл./га зафіксовано за внесення $N_{150}P_{120}K_{120}$ + азотфіксатор – 10,05 % у P8436 та 10,35 % у P9255.

Перехід від 60 до 70 тис. росл./га підвищував концентрацію крохмалю в усіх варіантах обох гібридів, тоді як загущення до 80 тис. супроводжувалося її зниженням. Відповідно, вихід крохмалю з одиниці площі визначався переважно продуктивністю посіву: приріст від контролю до найкращого варіанта становив +44,5 % у P8436 та +34,7 % у P9255, що відповідає наведенням у літературі результатам впливу азотного живлення та удобрення [12, 14, 13, 5].

Для умов Центрального Лісостепу України для отримання зерна з підвищеним умістом протеїну (кормові та харчові цілі) можна рекомендувати сівбу за густоти 60 тис. росл./га на фоні $N_{150}P_{120}K_{120}$ + азотфіксатор (10,05 % у P8436, 10,35 % у P9255); а для максимізації виходу крохмалю – сівбу гібриду P8436 за густоти 80 тис. росл./га на тому ж фоні живлення (10,19 т/га за вмісту крохмалю 72,75 %).

Висновки:

1. Гібрид P8436 характеризувався вищим умістом крохмалю (70,90–73,30 % проти 70,15–72,50 %) і вищим максимальним виходом крохмалю з одиниці площі

(10,19 проти 10,18 т/га), тоді як P9255 – вищим умістом сирого протеїну (8,65–10,35 % проти 8,35–10,05 %).

2. Реакція гібридів на густоту посіву була залежною від генотипу. У P8436 вихід крохмалю зростав зі збільшенням густоти до 80 тис. росл./га (з 9,60 до 10,19 т/га на фоні $N_{150}P_{120}K_{120}$ + азотфіксатор), тоді як у P9255 максимум показника (10,18 т/га) формувалася за густоти 70 тис. росл./га, а подальше загущення до 80 тис. супроводжувалося його зниженням до 9,97 т/га. Тому узагальнення «більша густота дає більший вихід крохмалю» справедливе лише для P8436.

3. Уміст сирого протеїну зі збільшенням густоти посіву знижувався. Максимальні значення показника в обох гібридів (10,05 % у P8436 та 10,35 % у P9255) сформувалися за густоти 60 тис. росл./га на фоні $N_{150}P_{120}K_{120}$ + азотфіксатор; за густоти 70 і 80 тис. росл./га вони становили відповідно 9,85 % та 10,15 %.

4. Система мінерального живлення була головним керуючим чинником якості. Підвищення норм добрив до $N_{150}P_{120}K_{120}$ у поєднанні з азотфіксатором забезпечувало найвищі значення досліджуваних показників в обох гібридів. Тісний позитивний зв'язок умісту сирого протеїну з рівнем азотного живлення ($r = 0,90$ у P8436 та $r = 0,91$ у P9255) підтверджує провідну роль азотного режиму у накопиченні білка, тоді як зв'язок показника з густотою посіву був слабким і від'ємним ($r = -0,23$ та $r = -0,18$).

5. Азотфіксатор посилював дію мінеральних добрив у всіх варіантах, не замінюючи їх. На фоні $N_{150}P_{120}K_{120}$ у P8436 за густоти 80 тис. росл./га він підвищував вихід крохмалю з 9,54 до 10,19 т/га, а вміст протеїну за густоти

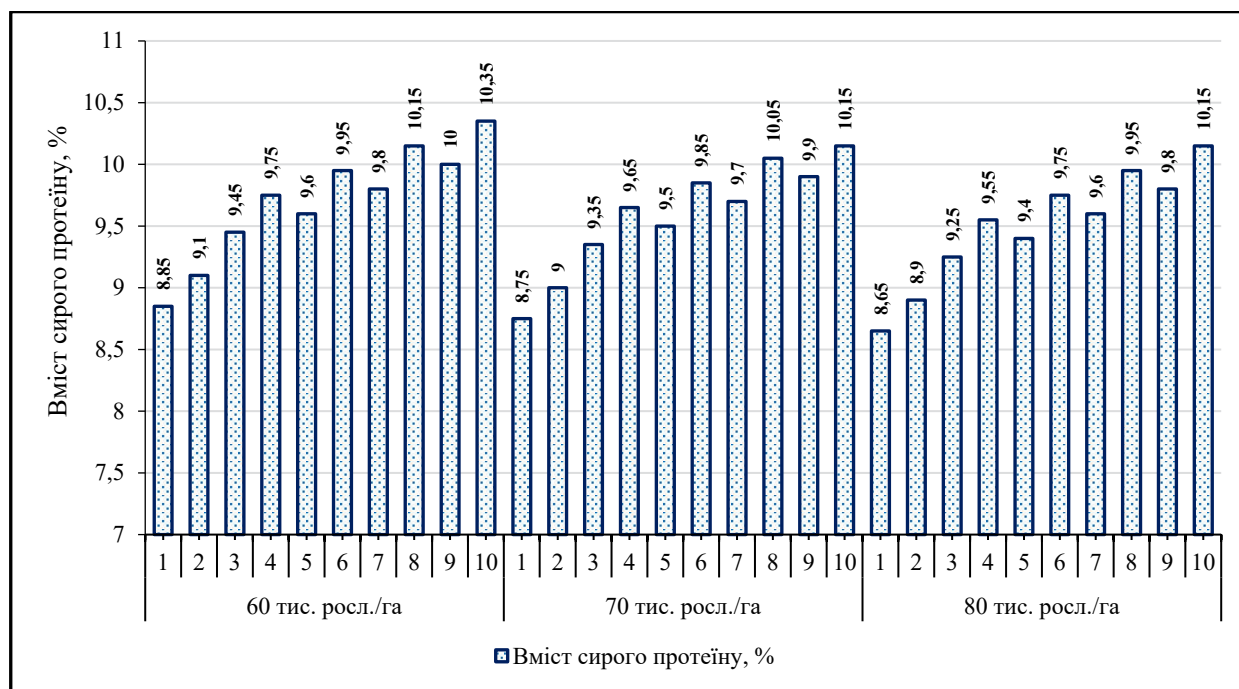


Рис. 4. Динаміка вмісту сирого протеїну (%) у зерні гібрида P9255 залежно від варіантів удобрення та густоти посіву

Примітка: * 1-Без добрив; 2-Без добрив + азотфіксатор; 3- $N_{60}P_{45}K_{45}$; 4- $N_{60}P_{45}K_{45}$ + азотфіксатор; 5- $N_{90}P_{60}K_{60}$; 6- $N_{90}P_{60}K_{60}$ + азотфіксатор; 7- $N_{120}P_{90}K_{90}$; 8- $N_{120}P_{90}K_{90}$ + азотфіксатор; 9) $N_{150}P_{120}K_{120}$; 10) $N_{150}P_{120}K_{120}$ + азотфіксатор (0,333 кг/га).

60 тис. – з 9,70 до 10,05 % (у P9255 відповідно з 10,00 до 10,35 %), тому біопрепарат доцільно застосовувати в комплексі з мінеральними добривами як елемент інтенсифікації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

- Влашук А. М., Колпакова О. С., Конашук О. П. Вплив строків сівби на продуктивність та якість зерна гібридів кукурудзи в умовах зрошення. *Агроекологічний журнал*. 2017. № 3. С. 89–95. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/agrog_2017_3_16.
- Засуха А. А., Вахний 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. Вип. 26. С. 41–52. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.26.6>.
- 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*. 2025. № 13. С. 273–281. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.25>.
- Камінський В. Ф., Асанішвілі Н. М. Формування якості зерна кукурудзи різних напрямів використання залежно від технології вирощування в Лісостепу. *Корми і кормовиробництво*. 2020. Вип. 89. С. 74–84. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnystvo202089-07>.
- Куценко О. М., Ляшенко В. В., Чайка Т. О., Кеда Л. Ю. Особливості росту, розвитку та формування продуктивності гібридів кукурудзи залежно від строку сівби. *Таврійський науковий вісник*. 2023. Вип. 134. С. 79–88. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.134.12>.
- Лісовал А. П. Методи агрохімічних досліджень. Київ : Вид-во НАУ, 2001. 247 с.
- Надь Я. Кукурудза. Вінниця : ФОП Корзун Д. Ю., 2012. 580 с.
- Петриченко В. Ф., Томашук О. В. Особливості формування показників якості зерна кукурудзи за різних технологій вирощування в умовах Лісостепу Правобережного. *Рослинництво та ґрунтознавство*. 2019. Т. 10, № 2. С. 29–37. <https://doi.org/10.31548/agr2019.02.029>.
- Поляков В. І. Особливості формування якісних показників зерна кукурудзи залежно від комплексу елементів технології вирощування. *Агробіологія*. 2020. Вип. 2. С. 132–138. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2020-161-2-132-138>.
- Сендецький В. М. Урожайність та якісні показники зерна кукурудзи за сумісного застосування соломки та сидератів. *Таврійський науковий вісник*. 2019. Вип. 105. С. 147–154. URL: https://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/105_2019/26.pdf.
- Ушкаренко В. О., Вожегова Р. А. Методика польового дослідження. Зрошуване землеробство. Одеса : Олді Плюс+, 2024. 448 с. URL: <https://oldiplus.ua/>.
- Aziiba E. A., Chai Q., Coulter J. A. Mechanisms of Nitrogen Use in Maize. *Agronomy*. 2019. Vol. 9, № 12. P. 1–16. <https://doi.org/10.3390/agronomy9120775>.
- Fauziah L., Anggraeni L., Latifah E., Istiqomah N., Khamidah A. Increased yield and quality of corn by inorganic fertilizers and utilization of corn as food to support food security. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2023. Vol. 1253, № 1. P. 1–15. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1253/1/012129>.
- Rawal N., Vista S. P., Khadka D., Paneru P. Grain Yield, Nitrogen Accumulation, and Its Use Efficiency of Maize

- as Influenced by Varying Nitrogen Rates. *International Journal of Agronomy*. 2024. Vol. 2024, № 1. P. 1–12. <https://doi.org/10.1155/2024/4104123>.
15. Schulze W. X., Altenbuchinger M., He M., Kränzlein M., Zörb C. Proteome profiling of repeated drought stress reveals genotype-specific responses and memory effects in maize. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2020. Vol. 159. P. 67–79. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.12.009>.
 16. Uribealarea M., Below F. E., Moose S. P. Grain Composition and Productivity of Maize Hybrids Derived from the Illinois Protein Strains in Response to Variable Nitrogen Supply. *Crop Science*. 2004. Vol. 44, № 5. P. 1593–1600. <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.1593>.
 17. Wang F., Wang L., Yu X., Gao J., Ma D., Guo H., Zhao H. Effect of Planting Density on the Nutritional Quality of Grain in Representative High-Yielding Maize Varieties from Different Eras. *Agriculture*. 2023. Vol. 13, № 9. P. 1–16. <https://doi.org/10.3390/agriculture13091835>.
 18. Yang X., Li Q. Influence of Agronomic Practices on Maize Protein and Starch Contents. *Field Crop*. 2024. Vol. 7, № 3. P. 158–170. <https://doi.org/10.5376/fc.2024.07.0016>.
- REFERENCES:**
1. Vlashchuk, A. M., Kolpakova, O. S., & Konashchuk, O. P. (2017). Vplyv strokiv sivy na produktyvnist ta yakist zerna hybridiv kukurudzy v umovakh zroshennia [Influence of sowing dates on productivity and grain quality of maize hybrids under irrigation]. *Ahroekologichnyi zhurnal*, (3), 89–95. http://nbuv.gov.ua/UJRN/agrog_2017_3_16 [in Ukrainian].
 2. Zasukha, A. A., & Vakhnii, S. P. (2024). Osoblyvosti formuvannia urozhaistosti, yakisnykh pokaznykiv zerna i pobichnoi produktsii kukurudzy ta rozrakhunkovy vykhid palyvnykh pelet zalezno vid elementiv tekhnologii vyroshchuvannia [Features of yield formation, grain quality indicators and by-products of maize and estimated fuel pellet yield depending on cultivation technology elements]. *Ahrarni innovatsii*, (26), 41–52. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.26.6> [in Ukrainian].
 3. 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 maize grain]. *Ukrainskyi zhurnal pryrodnych nauk*, (13), 273–281. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.25> [in Ukrainian].
 4. Kaminskyi, V. F., & Asanishvili, N. M. (2020). Formuvannia yakosti zerna kukurudzy riznykh napriamiv vykorystannia zalezno vid tekhnologii vyroshchuvannia v Lisostepu [Formation of maize grain quality for different uses depending on cultivation technology in the Forest-Steppe zone]. *Kormy i kormovyrobnytstvo*, (89), 74–84. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202089-07> [in Ukrainian].
 5. Kutsenko, O. M., Liashenko, V. V., Chaika, T. O., & Keda, L. Yu. (2023). Osoblyvosti rostu, rozvytku ta formuvannia produktyvnosti hibrydiv kukurudzy zalezno vid stroku sivy [Peculiarities of growth, development, and formation of maize hybrids' productivity depending on sowing time]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk*, (134), 79–88. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.134.12> [in Ukrainian].
 6. Lisoval, A. P. (2001). *Metody ahrokhimichnykh doslidzen* [Methods of agrochemical research]. NAU. [in Ukrainian].
 7. Nad, Ya. (2012). *Kukurudza [Maize]*. FOP Korzun D. Yu. [in Ukrainian].
 8. Petrychenko, V. F., & Tomashuk, O. V. (2019). Osoblyvosti formuvannia pokaznykiv yakosti zerna kukurudzy za riznykh tekhnologii vyroshchuvannia v umovakh Lisostepu Pravoberezhnoho [Peculiarities of maize grain quality indicators formation under different cultivation technologies in the Right-Bank Forest-Steppe]. *Roslynnnytstvo ta gruntoznavstvo*, 10(2), 29–37. <https://doi.org/10.31548/agr2019.02.029> [in Ukrainian].
 9. Poliakov, V. I. (2020). Osoblyvosti formuvannia yakisnykh pokaznykiv zerna kukurudzy zalezno vid kompleksu elementiv tekhnologii vyroshchuvannia [Features of maize grain quality indicators formation depending on a complex of cultivation technology elements]. *Ahrobiolohiia*, (2), 132–138. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2020-161-2-132-138> [in Ukrainian].
 10. Sendetskyi, V. M. (2019). Urozhaistost ta yakisni pokaznyky zerna kukurudzy za sumisnoho zastosuvannia solomy ta syderativ [Yield and quality indicators of maize grain under combined application of straw and green manure]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk*, (105), 147–154. https://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/105_2019/26.pdf [in Ukrainian].
 11. Ushkarenko, V. O., & Vozhehova, R. A. (2024). *Metodyka polovoho doslidu. Zroshuvane zemlerobstvo [Methodology of Field Experiments. Irrigated Agriculture]*. Odesa: Oldi Plus+ [in Ukrainian].
 12. Aziiba, E. A., Chai, Q., & Coulter, J. A. (2019). Mechanisms of nitrogen use in maize. *Agronomy*, 9(12), Article 775. <https://doi.org/10.3390/agronomy9120775>
 13. Fauziah, L., Anggraeni, L., Latifah, E., Istiqomah, N., & Khamidah, A. (2023). Increased yield and quality of corn by inorganic fertilizers and utilization of corn as food to support food security. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1253(1), Article 012129. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1253/1/012129>
 14. Rawal, N., Vista, S. P., Khadka, D., & Paneru, P. (2024). Grain yield, nitrogen accumulation, and its use efficiency of maize as influenced by varying nitrogen rates. *International Journal of Agronomy*, 2024(1), Article 4104123. <https://doi.org/10.1155/2024/4104123>
 15. Schulze, W. X., Altenbuchinger, M., He, M., Kränzlein, M., & Zörb, C. (2020). Proteome profiling of repeated drought stress reveals genotype-specific responses and memory effects in maize. *Plant Physiology and Biochemistry*, 159, 67–79. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.12.009>
 16. Uribealarea, M., Below, F. E., & Moose, S. P. (2004). Grain composition and productivity of maize hybrids derived from the Illinois protein strains in response to variable nitrogen supply. *Crop Science*, 44(5), 1593–1600. <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.1593>
 17. Wang, F., Wang, L., Yu, X., Gao, J., Ma, D., Guo, H., & Zhao, H. (2023). Effect of planting density on the nutritional quality of grain in representative high-yielding maize varieties from different eras. *Agriculture*, 13(9), Article 1835. <https://doi.org/10.3390/agriculture13091835>
 18. Yang, X., & Li, Q. (2024). Influence of agronomic practices on maize protein and starch contents. *Field Crop*, 7(3), 158–170. <https://doi.org/10.5376/fc.2024.07.0016>

Антоненко О.О., Бачинський О.В. Оптимізація режиму живлення та густоти посіву як фактор підвищення якості зерна кукурудзи

Мета. Визначити особливості формування хімічного складу зерна гібридів кукурудзи різних груп стиглості за оптимізованої густоти посіву та сумісного застосування мінеральних добрив і біопрепарату Блу N в агрокліматичних умовах Центрального Лісостепу України. **Методи.** Дослідження проводили впродовж 2024–2026 рр. на базі СТОВ «Любарецьке» Київської області на посівах гібридів кукурудзи P9255 та P8436. Площа облікової ділянки становила 33 м², дослід закладено з чотирикратною повторністю за послідовного багаторурсного розміщення варіантів. Схема досліду передбачала застосування мінеральних добрив у нормах $N_{60}P_{45}K_{45}$, $N_{90}P_{60}K_{60}$, $N_{120}P_{90}K_{90}$ та $N_{150}P_{120}K_{120}$ у поєднанні з позакореневим внесенням біопрепарату на основі азотфіксувальної бактерії *Methylobacterium symbioticum* у фазу 5–6 листків і варіювання густоти стояння рослин (60, 70 та 80 тис. рослин/га). **Результати.** Встановлено залежність вмісту крохмалю та сирого протеїну в зерні від генотипових особливостей гібридів, густоти стояння рослин і системи удобрення. У гібрида P8436 вміст крохмалю становив 70,90–73,30 %, а його вихід складав 7,05–10,19 т/га, а у гібрида P9255 відповідні показники становили 70,15–72,50 % та 7,56–10,18 т/га. Виявлено, що збільшення густоти посіву від 60 до 70 тис. росл./га сприяло підвищенню вмісту крохмалю у більшості варіантів, тоді як подальше загущення до 80 тис. росл./га супроводжувалося його певним зниженням. Водночас максимальний вихід крохмалю з одиниці площі у гібрида P8436 (10,19 т/га) формувався за густоти 80 тис. росл./га, а у гібрида P9255 (10,18 т/га) – за густоти 70 тис. росл./га на фоні $N_{150}P_{120}K_{120}$ у поєднанні з азотфіксатором. Встановлено, що вміст сирого протеїну в зерні P8436 становив 8,35–10,05 %, а P9255 складав 8,65–10,35 %. При цьому його найвищі показники (10,05 та 10,35% відповідно) забезпечувало поєднання густоти 60 тис. росл./га з внесенням максимальної норми добрив і азотфіксатора. Підтверджено, що підвищення рівня мінерального живлення у поєднанні з азотфіксатором сприяло накопиченню сирого протеїну в зерні обох гібридів. **Висновки.** Доведено, що підвищення рівня мінерального живлення у поєднанні з азотфіксатором сприяло збільшенню вмісту сирого протеїну в зерні обох гібридів. Визначено, що оптимізація густоти стояння рослин та системи мінерально-біологічного живлення забезпечувала диференційоване формування якісних показників зерна залежно від генотипу гібрида. Виявлено, що P9255 характеризувався дещо вищим вмістом сирого протеїну, тоді як P8436 – вищою концентрацією крохмалю та максимальним його виходом.

Ключові слова: кукурудза, гібрид, P8436, P9255, зерно, крохмаль, сирий протеїн, густота стояння рослин, мінеральні добрива, азотфіксатор, система живлення, якість зерна, Центральний Лісостеп України.

Antonenko O.O., Bachynskiy O.V. Optimization of nutrient supply and plant density as a factor in improving maize grain quality

Purpose. To determine the specific features of the formation of the chemical composition of maize grain in hybrids of different maturity groups under optimized plant density and the combined application of mineral fertilizers and the biological preparation Blue N under the agro-climatic conditions of the Central Forest-Steppe of Ukraine. **Methods.** The research was conducted during 2024–2026 at the «Lyubaretske» LLC on maize hybrids P9255 and P8436. The area of the accounting 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 $N_{60}P_{45}K_{45}$, $N_{90}P_{60}K_{60}$, $N_{120}P_{90}K_{90}$ and $N_{150}P_{120}K_{120}$ in combination with foliar application of the biological preparation 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.** A dependence of starch and crude protein contents in maize grain on the genotypic characteristics of the hybrids, plant density, and fertilization system was established. In hybrid P8436, starch content ranged from 70.90 to 73.30 %, while starch yield ranged from 7.05 to 10.19 t/ha; in hybrid P9255, the corresponding values were 70.15–72.50 % and 7.56–10.18 t/ha, respectively. It was revealed that increasing plant density from 60 to 70 thousand plants/ha contributed to an increase in starch content in most experimental variants, whereas further increasing the density to 80 thousand plants/ha was accompanied by a certain decrease in this parameter. At the same time, the maximum starch yield per unit area – 10.19 t/ha in hybrid P8436 and 10.18 t/ha in hybrid P9255 – was formed at plant densities of 80 and 70 thousand plants/ha, respectively, under the $N_{150}P_{120}K_{120}$ background combined with the nitrogen fixer. It was established that crude protein content in P8436 grain ranged from 8.35 to 10.05 %, while in P9255 it ranged from 8.65 to 10.35 %, with the highest values (10.05 and 10.35 %, respectively) ensured by combining a plant density of 60 thousand plants/ha with the application of the maximum fertilizer rate and the nitrogen fixer. It was confirmed that increasing the level of mineral nutrition in combination with the nitrogen fixer contributed to the accumulation of crude protein in the grain of both hybrids. **Conclusions.** It was proven that increasing the level of mineral nutrition in combination with the nitrogen fixer contributed to an increase in crude protein content in the grain of both hybrids. It was determined that the optimization of plant density and the mineral-biological nutrition system ensured the differentiated formation of grain quality parameters depending on the hybrid genotype. It was revealed that P9255 was characterized by a slightly higher crude protein content, whereas P8436 exhibited a higher starch concentration and maximum starch yield.

Key words: maize, hybrid, P8436, P9255, grain, starch, crude protein, plant density, mineral fertilizers, nitrogen fixer, nutrient supply system, grain quality, Central Forest-Steppe of Ukraine.

Дата першого надходження статті до видання: 31.08.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 30.09.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 21.10.2026