

## ФОРМУВАННЯ ЯКОСТІ ЗЕРНА ГІБРИДІВ КУКУРУДЗИ МАРКИ DEKALB ЗАЛЕЖНО ВІД ГУСТОТИ СТОЯННЯ РОСЛИН ТА ПОЗАКОРЕНЕВИХ ПІДЖИВЛЕНЬ МІКРОДОБРИВАМИ

**ІВАНІВ М.О.** – кандидат сільськогосподарських наук

[orcid.org/0000-0002-4793-6194](https://orcid.org/0000-0002-4793-6194)

Херсонський державний аграрно-економічний університет

**СИДЯКІНА О.В.** – кандидат сільськогосподарських наук

[orcid.org/0000-0001-8812-6078](https://orcid.org/0000-0001-8812-6078)

Херсонський державний аграрно-економічний університет

**ГАМУЛА Є.А.** – аспірант

[orcid.org/0009-0007-5214-7599](https://orcid.org/0009-0007-5214-7599)

Херсонський державний аграрно-економічний університет

**Постановка проблеми.** В умовах сучасного аграрного виробництва, що характеризується зростаючими кліматичними ризиками та необхідністю ефективного використання ресурсів, на особливу увагу заслуговують дослідження, спрямовані на підвищення якості рослинницької продукції. Кукурудза, як провідна зернова культура світового значення, потребує вдосконалення елементів технології вирощування з урахуванням біологічних особливостей гібридів, режиму мінерального живлення та адаптації до стресових факторів середовища. Гібриди кукурудзи марки DEKALB відзначаються високим генетичним потенціалом урожайності, проте його реалізація значною мірою залежить від умов вирощування, зокрема густоти стояння та рівня забезпеченості рослин елементами живлення.

Позакореневі підживлення мікродобривами дозволяють регулювати метаболічні процеси, стимулювати засвоєння азоту, покращувати фотосинтетичну активність посівів та, як наслідок, впливати на формування якості зерна. Водночас, оптимізація густоти стояння рослин забезпечує раціональне використання просторових ресурсів і мінімізує конкуренцію рослин за світло, воду та елементи живлення. Комплексне вивчення впливу зазначених факторів на формування показників якості зерна є необхідним як для наукового обґрунтування ефективних агротехнологій, так і для їх практичного впровадження з метою отримання стабільно якісної продукції в умовах кліматичних змін та обмежених ресурсів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Важливим показником якості зерна кукурудзи є вміст у ньому сирого протеїну. Гібриди кукурудзи суттєво відрізняються за рівнем накопичення у зерні сирого протеїну, що пов'язано зі специфікою їх метаболізму, тривалістю вегетаційного періоду, ефективністю поглинання і засвоєння азоту та здатністю адаптуватися до стресових умов середовища. У різних гібридів кількість білкових маркерів змінюється по-різному: деякі гібриди підтримують стабільний набір протеїнів навіть за серії посушливих періодів, незважаючи на загальне зниження ферментативної діяльності в тканинах рослин [1].

Інтенсивна посуха під час репродуктивної фази призводить до значного пригнічення фотосинтетичної

активності, уповільнення ростових процесів рослин, а також зниження рівня врожайності та білковості зерна кукурудзи [2]. За даними низки досліджень [3–5] встановлено, що білковий потенціал гібридів кукурудзи найбільш повно реалізується за умови помірного дефіциту вологи, що сприяє концентраційному ефекту за рахунок зниження синтезу крохмалю.

Значною мірою на вміст білка в зерні кукурудзи впливає густота стояння рослин. Оптимальна щільність посівів сприяє максимальному накопиченню сирого протеїну в зерні завдяки ефективному використанню рослинами площі живлення та фотосинтетичних ресурсів. Надмірне загущення або, навпаки, занадто зріджені посіви призводять до зниження білковості зерна через конкуренцію рослин за ресурси або нераціональне використання потенціалу ґрунтового середовища [6, 7].

Китайські дослідники [8] 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 [9].

У ґрунтово-кліматичних умовах Західного Лісостепу України найвищі показники вмісту білка в зерні гібридів кукурудзи було отримано за умов комплексного удобрення. Зокрема, максимальні значення білковості зерна було досягнуто у варіантах із застосуванням мінеральних добрив у підвищених нормах (250 та 300 кг/га) у поєднанні з проведенням позакореневих підживлень мікродобривами. Таке комплексне удобрення створювало сприятливі умови для інтенсивного засвоєння рослинами елементів живлення та активного синтезу білкових сполук, що в результаті забезпечило покращення показників якості зерна кукурудзи [10]. Позитивний вплив мікродобрив на формування показників якості зерна кукурудзи зазначають й інші дослідники [11, 12].

Узагальнюючи результати численних досліджень, можна стверджувати, що вміст сирого протеїну в зерні кукурудзи є комплексним показником, який формується за впливу багатьох взаємопов'язаних факторів – генетичних особливостей гібридів, умов

зволоження, густоти стояння рослин та рівня мінерального живлення. Найвищі показники білковості зерна досягаються за умов оптимального поєднання стресостійких гібридів, помірного дефіциту вологи, збалансованого мінерального живлення, а також правильно підбраної густоти посіву. Встановлено, що комплексне управління агротехнічними заходами дозволяє не лише підвищити загальну якість зерна, а й ефективно реалізувати генетичний потенціал білкового накопичення у зерні гібридів кукурудзи навіть за умов стресу.

**Мета дослідження** – дослідити вплив густоти стояння рослин та позакореневих підживлень мікродобривами на вміст сирого протеїну в зерні гібридів кукурудзи марки DEKALB різних груп ФАО у ґрунтово-кліматичних умовах Північного Степу України.

**Матеріали та методика досліджень.** Польові дослідження з вивчення впливу густоти стояння рослин та позакореневих підживлень мікродобривами на вміст сирого протеїну в зерні гібридів кукурудзи марки DEKALB проводили впродовж 2022–2024 рр. на базі ТОВ АФ «Агротехнологія-Плюс», що розташоване в Кропивницькому районі Кіровоградської області (48°24'54" пн. ш., 32°01'02" сх. д.) у ґрунтово-кліматичних умовах Північного Степу України.

Ґрунтовий покрив дослідної ділянки представлений чорноземом звичайним малогумусним, глибоким, із середнім рівнем забезпеченості рухомими формами основних макроелементів. Дослід було закладено за трифакторною схемою у чотириразовій повторності методом розщеплених ділянок із систематичним розміщенням варіантів.

Схема досліду представлена такими факторами:

- Фактор А – гібриди кукурудзи: ДКС 4098 (ФАО 310), ДКС 4109 (ФАО 320), ДКС 4391 (ФАО 350), ДКС 4598 (ФАО 360), ДКС 4712 (ФАО 370), ДКС 5075 (ФАО 410), ДКС 5206 (ФАО 420);
- Фактор В – густина стояння рослин: 55, 60, 65, 70, 75, 80, 90 та 110 тис. рослин/га;
- Фактор С – позакореневі підживлення: контроль (обробка водою); Аміно Ультра Кукурудза (0,75 кг/га); Мікро-Мінераліс Кукурудза (1,5 л/га).

Позакореневі підживлення проводили двічі: у фазу 3–5 листків, коли закладаються генеративні органи, що визначають рівень майбутнього врожаю, та у фазу 7–9 листків, яка є критичною для формування озерності качанів. Зазначені фази є чутливими до дефіциту елементів живлення, особливо азоту, який є основою білкових сполук у зерні.

При проведенні досліджень застосовували комплекс методів: польовий – для закладення і проведення досліду, лабораторний – для визначення вмісту сирого протеїну у зерні (за методом К'ельдаля), математичний і статистичний – для опрацювання та інтерпретації результатів. Вирощували кукурудзу у досліді відповідно до регіональної технології, рекомендованої для зони, за винятком досліджуваних факторів.

Статистичну обробку отриманих результатів здійснювали з використанням функціоналу Microsoft Office Excel та програмного комплексу Agrostat. Достовірність результатів оцінювали за допомогою методу

дисперсійного аналізу з обчисленням найменшої істотної різниці ( $HIP_{05}$ ).

**Результати досліджень.** Аналіз середніх значень вмісту сирого протеїну в зерні кукурудзи за період 2022–2024 рр. свідчить про помітну диференціацію гібридів за цим показником (рис. 1). В усі роки досліджень найвищий вміст сирого протеїну в зерні формували гібриди ДКС 4391 (ФАО 350) – у середньому 7,82%, що вказує на його підвищену потенційну здатність до синтезу білкових сполук, зокрема в посушливих умовах 2023 р. (8,11%) та гідротермічного стресу 2024 р. (7,48%).

Другу групу за рівнем білковості зерна склали гібриди ДКС 4598 (ФАО 360) (7,54%) та ДКС 4712 (ФАО 370) (7,48%), які також показали стабільно високі результати за різних умов зволоження року вирощування. Гібриди ДКС 4098 (ФАО 310), ДКС 5075 (ФАО 410) та ДКС 5206 (ФАО 420) сформували вміст сирого протеїну в зерні на рівні 7,42–7,43%, що є типовим значенням для середньостиглих та пізньостиглих форм кукурудзи.

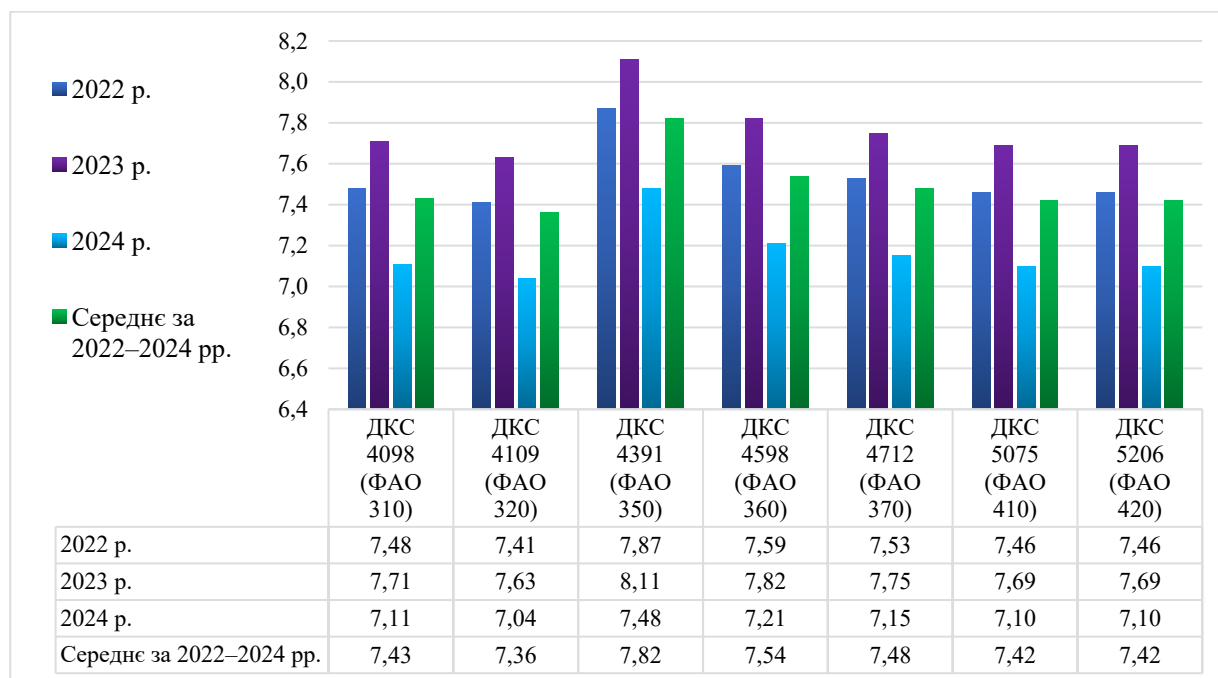
Найнижчі середні показники за три роки досліджень виявлено у гібрида ДКС 4109 (ФАО 320) – 7,36%, що свідчить про його дещо нижчу потенційну здатність до формування білкового компоненту врожаю порівняно з іншими гібридами. У цілому, простежується чітка залежність вмісту сирого протеїну від біологічних особливостей гібридів та погодних умов року вирощування, з переважним підвищенням білковості зерна у 2023 р. – році з помірним дефіцитом вологи, та зниженням у 2024 р., коли спостерігався стрес від надмірної посухи.

Аналіз даних щодо вмісту сирого протеїну в зерні гібридів кукурудзи різних груп ФАО залежно від густоти стояння рослин обґрунтовує суттєвий вплив як генетичних особливостей гібридів (фактор А), так і щільності посіву (фактор В) на формування білкового потенціалу зерна (табл. 1).

У межах досліджуваного діапазону густоти стояння рослин (від 55 до 110 тис./га) у більшості гібридів вміст сирого протеїну в зерні мав чітко виражену тенденцію до підвищення при зростанні густоти до 80 тис./га, після чого відбувалося зниження показника. Зокрема, найвищій його значення було встановлено за густоти 80 тис./га у гібридів ДКС 4391 (ФАО 350) – 8,14%, ДКС 4598 (ФАО 360) – 7,85%, ДКС 4712 (ФАО 370) – 7,87% та ДКС 5075 (ФАО 410) – 7,82%. Одержані дані дозволяють зробити висновок, що саме ця густина забезпечує оптимальне поєднання умов для асиміляції, азотного живлення та фотосинтетичної активності рослин.

Зменшення густоти до 55–60 тис./га призводило до зниження білковості зерна всіх гібридів. Зокрема, найнижчий вміст сирого протеїну було визначено у гібрида ДКС 4109 (ФАО 320) – 6,92% за густоти стояння рослин 55 тис./га та 7,12% за густоти 60 тис./га. Подібну ситуацію спостерігали і за надмірного загущення посівів (110 тис./га), що обумовлено посиленням внутрішньовидової конкуренції рослин за вологу, світло та елементи живлення та негативно вплинуло на ефективність формування білкового компоненту врожаю.

За результатами досліджень встановлено позитивний вплив позакореневих підживлень мікродобривами



**Рис. 1. Вміст сирого протеїну в зерні гібридів кукурудзи різних груп FAO у середньому за факторами В і С, %**

Таблиця 1

**Вміст сирого протеїну в зерні гібридів кукурудзи різних груп FAO залежно від густоти стояння рослин у середньому за фактором С (середнє за 2022–2024 рр.), %**

| Гібрид<br>(фактор А)                                                               | Густота стояння рослин, тис./га<br>(фактор В) |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                                                                    | 55                                            | 60   | 65   | 70   | 75   | 80   | 90   | 110  |
| ДКС 4098 (FAO 310)                                                                 | 7,06                                          | 7,18 | 7,37 | 7,54 | 7,62 | 7,77 | 7,67 | 7,27 |
| ДКС 4109 (FAO 320)                                                                 | 6,92                                          | 7,12 | 7,32 | 7,47 | 7,59 | 7,67 | 7,56 | 7,22 |
| ДКС 4391 (FAO 350)                                                                 | 7,17                                          | 8,10 | 7,91 | 7,76 | 7,87 | 8,14 | 8,02 | 7,57 |
| ДКС 4598 (FAO 360)                                                                 | 7,02                                          | 7,27 | 7,57 | 7,72 | 7,77 | 7,85 | 7,73 | 7,37 |
| ДКС 4712 (FAO 370)                                                                 | 6,87                                          | 7,07 | 7,42 | 7,62 | 7,73 | 7,87 | 7,77 | 7,46 |
| ДКС 5075 (FAO 410)                                                                 | 6,71                                          | 7,00 | 7,31 | 7,54 | 7,66 | 7,82 | 7,77 | 7,51 |
| ДКС 5206 (FAO 420)                                                                 | 6,82                                          | 7,07 | 7,27 | 7,58 | 7,72 | 7,77 | 7,67 | 7,43 |
| НІР <sub>05</sub> , т/га                                                           |                                               |      |      |      |      |      |      |      |
| 2022 р.: А – 0,17; В – 0,14; С – 0,11; АВ – 0,23; АС – 0,19; ВС – 0,17; АВС – 0,25 |                                               |      |      |      |      |      |      |      |
| 2023 р.: А – 0,21; В – 0,18; С – 0,14; АВ – 0,29; АС – 0,24; ВС – 0,21; АВС – 0,31 |                                               |      |      |      |      |      |      |      |
| 2024 р.: А – 0,14; В – 0,11; С – 0,09; АВ – 0,19; АС – 0,15; ВС – 0,14; АВС – 0,21 |                                               |      |      |      |      |      |      |      |

на вміст сирого протеїну в зерні кукурудзи (рис. 2). Найнижчі його значення спостерігали у контрольному варіанті досліді з обробкою посівів водою – 7,37% у середньому за 2022–2024 рр., що обґрунтовує нестачу доступних елементів живлення у критичні фази органогенезу кукурудзи без проведення підживлень.

Підживлення посівів мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза сприяло збільшенню вмісту сирого протеїну до 7,63%, тобто на 0,26% порівняно з контролем. Найвищі показники за даним варіантом досліді одержали у 2023 р. (7,91%), що збігається з умовами помірної посухи, коли рослини більш активно реагують на додаткове мінеральне забезпечення, зокрема на амінокислотні форми живлення.

Підживлення посівів мікродобривом Мікро-Мінераліс Кукурудза також забезпечило зростання вмісту сирого протеїну, але дещо меншою мірою – 7,48% у середньому за три роки досліджень. Найкращий ефект даного мікродобрива також спостерігали у 2023 р. (7,75%), тоді як у 2024 р. ефективність усіх підживлень знизилась, що, ймовірно, пов'язано з порушенням фізіологічних процесів унаслідок гідротермічного стресу.

Загалом, результати досліджень свідчать, що обидва мікродобрива позитивно впливають на білковість зерна, а Аміно Ультра Кукурудза забезпечує більш виражений ефект, що пов'язано з підвищеним вмістом легкодоступного азоту у формі амінокислот, який активно використовується рослинами під час формування білкових

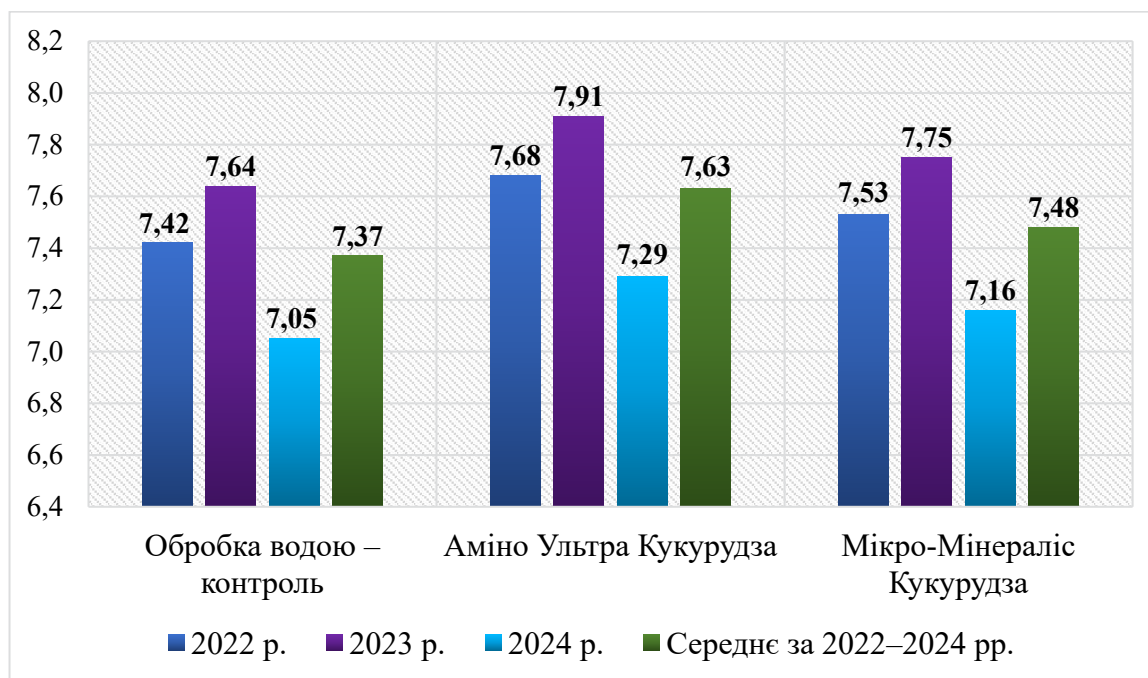


Рис. 2. Вплив позакоренових підживлень мікродобривами на вміст сирого протеїну в зерні кукурудзи у середньому за факторами А і В, %

сполук. Отримані дані обґрунтовують доцільність проведення позакоренових підживлень у технологіях вирощування кукурудзи, особливо в умовах нестійкого вологозабезпечення.

Результати дисперсійного аналізу (розрахунок  $HIP_{05}$ ) підтверджують статистичну значущість впливу всіх досліджуваних факторів – як основних (А, В, С), так і їх взаємодій (АВ, АС, ВС, АВС), що вказує на складну багатофакторну природу процесів білкоутворення в зерні кукурудзи. Це дозволяє зробити висновок про необхідність комплексного підходу щодо добору гібридів, оптимізації густоти посіву та фону живлення в адаптивних технологіях вирощування кукурудзи.

**Висновки.** Вміст сирого протеїну в зерні кукурудзи суттєво залежить від умов зволоження року вирощування, біологічних особливостей гібридів, густоти стояння рослин і проведення позакоренових підживлень мікродобривами. Найвищі показники білкової зерна формував гібрид ДКС 4391 (ФАО 350) за густоти стояння рослин 75–80 тис./га. Позакоренові підживлення, особливо мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза, сприяли зростанню вмісту сирого протеїну в зерні. Отримані результати мають важливе значення для вдосконалення технологій вирощування кукурудзи за сучасних кліматичних змін та обмежених ресурсів.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

- 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*. 2021. Vol. 159. P. 67–79. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.12.009>
- Li Ya., Zhang P., Sheng W., Zhang Z., Rose R. J., Song Yo. Securing maize reproductive success under drought stress by harnessing CO<sub>2</sub> fertilization for greater productivity. *Frontiers in Plant Science*. 2023. Vol. 14. P. 1221095. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1221095>
- Guo J., Qu L., Hu Yi., Lu W., Lu D. Proteomics reveals the effects of drought stress on the kernel development and starch formation of waxy maize. *BMC Plant Biology*. 2021. Vol. 21. P. 434. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-021-03214-z>
- Correndo A. A., Fernandez J. A., Vara Prasad P. V., Ciampitti I. A. Do Water and Nitrogen Management Practices Impact Grain Quality in Maize? *Agronomy*. 2021. Vol. 11(9). P. 1851. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11091851>
- Safian N., Naderi M. R., Torabi M., Soleymani A., Salemi H. R. Corn (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) yield and nutritional quality affected by drought stress. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2022. Vol. 45. P. 102486. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102486>
- 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. 1835. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13091835>
- Ygzaw W., Ifie B. E., Ribeiro P. F., Adu G. B., Danquah E. Yi., Offei S. K., Tongona P. B. Optimizing Maize Yield With Hybrids Tolerant of High Plant Density in West and Central Africa. *Plant Environ Interact*. 2025. Vol. 6(2). P. 70046. DOI: <https://doi.org/10.1002/pei3.70046>
- Yang X., Li Q. Influence of Agronomic Practices on Maize Protein and Starch Contents. *Field Crop*. 2024. Vol. 7(3). P. 158–170. DOI: <https://doi.org/10.5376/fc.2024.07.0016>

9. Asibi A. E., Chai Q., Coulter J. A. Mechanisms of Nitrogen Use in Maize. *Agronomy*. 2019. Vol. 9(12). P. 775. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy9120775>
10. Ivanishyn O., Khomina V., Pantsyryeva H. Influence of fertilization on the formation of grain productivity in different-maturing maize hybrids. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021. Vol. 11(3). P. 262–269. DOI: [https://doi.org/10.15421/2021\\_170](https://doi.org/10.15421/2021_170)
11. Мелешко І. О., Сидякіна О. В. Особливості мінерального живлення кукурудзи на зерно. *Сучасна наука: стан та перспективи розвитку* : матеріали V Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених з нагоди Дня науки в Україні, 19 травня 2022 р. Херсон, 2022. С. 32–34.
12. Сидякіна О. В., Гамула Є. А. Мікродобрива у технологіях вирощування кукурудзи як елемент екологічно орієнтованого та ресурсозберігаючого землеробства. *Продовольча безпека України в умовах післявоєнного відновлення: глобальні та національні виміри. Міжнародний форум* : доповіді учасників міжнародної науково-практичної конференції, 28–30 травня 2025 р. Миколаїв : МНАУ, 2025. С. 166–169.
8. Yang, X., & Li, Q. (2024). Influence of Agronomic Practices on Maize Protein and Starch Contents. *Field Crop*, 7(3), 158–170. DOI: <https://doi.org/10.5376/fc.2024.07.0016>
9. Asibi, A. E., Chai, Q., & Coulter, J. A. (2019). Mechanisms of Nitrogen Use in Maize. *Agronomy*, 9(12), 775. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy9120775>
10. Ivanishyn, O., Khomina, V., & Pantsyryeva, H. (2021). Influence of fertilization on the formation of grain productivity in different-maturing maize hybrids. *Ukrainian Journal of Ecology*, 11(3), 262–269. DOI: [https://doi.org/10.15421/2021\\_170](https://doi.org/10.15421/2021_170)
11. Mielieshko, I. O., & Sydiakina, O. V. (2022). Osoblyvosti mineralnogo zhyvlennia kukurudzy na zerno [Features of mineral nutrition of grain corn]. *Suchasna nauka: stan ta perspektyvy rozvytku [Modern science: state and development prospects]* : materialy V Vseukr. nauk.-prakt. konf. molodykh vchenykh z nahody Dnia nauky v Ukraini, 19 travnia 2022. Kherson, 2022, 32–34 [in Ukrainian].
12. Sydiakina, O. V., & Hamula, Ye. A. Mikrodobryva u tekhnolohiiakh vyroshchuvannia kukurudzy yak element ekolohoorientovanoho ta resursozberihaiuchoho zemlerobstva [Microfertilizers in corn growing technologies as an element of environmentally friendly and resource-saving agriculture]. *Prodovolcha bezpeka Ukrainy v umovakh pislivoiennoho vidnovlennia: hlobalni ta natsionalni vymiry. Mizhnarodnyi forum: dopovidy uchasnykiv mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii*, 28–30 travnia 2025 r. Mykolaiv : MNAU, 2025, 166–169 [in Ukrainian].

## REFERENCES:

1. Schulze, W. X., Altenbuchinger, M., He, M., Kränzlein, M., & Zörb, C. (2021). Proteome profiling of repeated drought stress reveals genotype-specific responses and memory effects in maize. *Plant Physiology and Biochemistry*, 159, 67–79. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.12.009>
2. Li, Ya., Zhang, P., Sheng, W., Zhang, Z., Rose, R. J., & Song, Yo. (2023). Securing maize reproductive success under drought stress by harnessing CO<sub>2</sub> fertilization for greater productivity. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1221095. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1221095>
3. Guo, J., Qu, L., Hu, Yi., Lu, W., & Lu, D. (2021). Proteomics reveals the effects of drought stress on the kernel development and starch formation of waxy maize. *BMC Plant Biology*, 21, 434. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-021-03214-z>
4. Correndo, A. A., Fernandez, J. A., Vara Prasad, P. V., & Ciampitti, I. A. (2021). Do Water and Nitrogen Management Practices Impact Grain Quality in Maize? *Agronomy*, 11(9), 1851. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11091851>
5. Safian, N., Naderi, M. R., Torabi, M., Soleymani, A., & Salemi, H. R. (2022). Corn (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) yield and nutritional quality affected by drought stress. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 45, 102486. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102486>
6. 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), 1835. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13091835>
7. Ygzaw, W., Ifie, B. E., Ribeiro, P. F., Adu, G. B., Danquah, E. Yi., Offei, S. K., & Tongoona, P. B. (2025). Optimizing Maize Yield With Hybrids Tolerant of High Plant Density in West and Central Africa. *Plant Environ Interact*, 6(2), 70046. DOI: <https://doi.org/10.1002/pei3.70046>

**Іванів М.О., Сидякіна О.В., Гамула Є.А.**  
**Формування якості зерна гібридів кукурудзи марки DEKALB залежно від густоти стояння рослин та позакоренових підживлень мікродобривами**

**Мета.** Дослідити вплив густоти стояння рослин та позакоренових підживлень мікродобривами на вміст сирого протеїну в зерні гібридів кукурудзи марки DEKALB різних груп ФАО у ґрунтово-кліматичних умовах Північного Степу України. **Методи.** Польовий – для закладення і проведення дослідів, лабораторний – для визначення вмісту сирого протеїну у зерні (за методом К'ельдала), математичний і статистичний – для опрацювання та інтерпретації результатів. Статистичну обробку отриманих результатів здійснювали з використанням функціоналу Microsoft Office Excel та програмного комплексу Agrostat. Достовірність результатів оцінювали за допомогою методу дисперсійного аналізу з обчисленням найменшої істотної різниці (H<sub>IP05</sub>). **Результати.** Вміст сирого протеїну в зерні кукурудзи суттєво залежав від комплексу агробіологічних та погодних чинників. Встановлено, що погодні умови року вирощування мають визначальний вплив: найвищі показники білкової зерно спостерігали у 2023 р., коли на фоні помірного водного дефіциту відбувалася активізація синтезу білкових сполук у зерні. Натомість, у посушливому 2024 р. через виражений гідротермічний стрес в критичні фази органогенезу вміст сирого протеїну в зерні знижувався, особливо у гібридів з нижчим потенціалом стресостійкості. Серед досліджуваних гібридів кукурудзи найвищі та стабільні показники вмісту сирого протеїну забезпечував гібрид ДКС 4391 (ФАО 350), що свідчить про його високу генетичну здатність до накопичення білкових сполук, навіть за змінних умов зволоження. Оптимальну

густоту стояння рослин для формування високого білкового потенціалу визначено у межах 75–80 тис./га. Надмірне розрідження чи загущення посівів знижувало ефективність фотосинтезу та використання площі живлення, що негативно позначилося на якості зерна. Встановлено позитивний вплив позакоренових підживлень мікродобривами на накопичення сирого протеїну в зерні. Мікродобриво Аміно Ультра Кукурудза забезпечило найбільше підвищення вмісту сирого протеїну порівняно з контролем, особливо в роки з помірним водним дефіцитом, що свідчить про доцільність застосування амінокислотних мікродобрив у технологіях вирощування кукурудзи. Отримані результати обґрунтовують важливість комплексного підходу до формування якісного врожаю кукурудзи – з урахуванням біологічних особливостей гібридів, густоти стояння рослин та проведення позакоренових підживлень мікродобривами, особливо за сучасних кліматичних змін та нестабільного водного забезпечення. **Висновки.** За результатами досліджень обґрунтовано тісний взаємозв'язок між агрокліматичними умовами, генетичними особливостями гібридів, просторовим розміщенням рослин у посіві та проведенням позакоренових підживлень мікродобривами щодо накопичення сирого протеїну в зерні кукурудзи. Найвищу кількість сирого протеїну забезпечував гібрид ДКС 4391 (FAO 350) за оптимальної густоти стояння 75–80 тис./га. Застосування мікродобрив, зокрема Аміно Ультра Кукурудза, виявилось ефективним засобом підвищення досліджуваного показника. Отримані результати можуть бути використані для розробки адаптивних агротехнологій, здатних забезпечити стабільну якість зерна кукурудзи за умов кліматичної нестабільності.

**Ключові слова:** кукурудза, сирий протеїн, якість зерна, гібриди, густота стояння рослин, мікродобрива, позакоренові підживлення, умови вологозабезпеченості, гідротермічний стрес.

**Ivaniv M.O., Sydiakina O.V., Hamula Ye.A. Grain quality formation of DEKALB maize hybrids depending on plant density and foliar application of micronutrients**

**Purpose.** To investigate the effect of plant density and foliar application of micronutrients on the crude protein content in the grain of DEKALB maize hybrids of different FAO maturity groups under the soil and climatic conditions of the Northern Steppe of Ukraine. **Methods.** Field method – for the establishment and conduct of the experiment; laboratory method – for determining crude protein content in the grain (Kjeldahl method); mathematical and statistical methods – for processing and interpreting the results. Statistical analysis was performed using Microsoft Office Excel and

the Agrostat software package. The reliability of the results was assessed using analysis of variance (ANOVA) and the least significant difference (LSD<sub>05</sub>) test. **Results.** The crude protein content in maize grain significantly depended on a combination of agrobiological and weather factors. It was established that the weather conditions of the growing season had a decisive influence: the highest protein levels were recorded in 2023, when moderate water deficit enhanced the synthesis of protein compounds in the grain. In contrast, during the drought year of 2024, pronounced hydrothermal stress during the critical phases of organogenesis led to a decrease in crude protein content, particularly in hybrids with lower stress tolerance. Among the studied hybrids, DKC 4391 (FAO 350) exhibited the highest and most stable crude protein content, indicating its strong genetic potential for protein accumulation even under variable moisture conditions. The optimal plant density for achieving a high protein potential was found to be 75–80 thousand plants/ha. Excessively low or high plant populations reduced photosynthetic efficiency and nutrient uptake due to unbalanced competition or inefficient use of the available rooting space, thus negatively affecting grain quality. A positive effect of foliar application of micronutrients on the accumulation of crude protein in maize grain was established. The use of Amino Ultra Maize resulted in the greatest increase in protein content compared to the control, especially under moderate water deficit, highlighting the effectiveness of amino acid-based micronutrient fertilizers in maize production technologies. **Conclusions.** The results substantiate the close interaction between agro-climatic conditions, hybrid genetics, plant spatial distribution in the field, and foliar fertilization in determining the protein composition of maize grain. The hybrid DKC 4391 (FAO 350) achieved the highest crude protein content under the optimal plant density of 75–80 thousand plants/ha. The use of micronutrient fertilizers, particularly Amino Ultra Maize, proved to be an effective measure to improve this indicator. The obtained findings may serve as a basis for developing adaptive agronomic technologies to ensure stable grain quality under conditions of climate change and fluctuating water availability.

**Key words:** maize, crude protein, grain quality, hybrids, plant density, micronutrients, foliar fertilization, water availability, hydrothermal stress.

Дата першого надходження рукопису до видання: 03.09.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 27.10.2025

Дата публікації: 28.11.2025