

Yield and grain quality of corn depending on nitrogen fertilizer forms

A. Liakhno✉

Article info

Correspondence Author

A. Liakhno

E-mail:

andrii.liakhno@astarta.ua

Poltava State Agrarian

University,

1/3, Skovorody str., Poltava,

36003, Ukraine

Citation: Liakhno, A. (2025). Yield and grain quality of corn depending on nitrogen fertilizer forms. *Scientific Progress & Innovations*, 28 (1), 43–49. doi: 10.31210/spi2025.28.01.08

Nitrogen is the most limiting nutrient for crop growth and development. However, its inefficient use leads to negative consequences, including greenhouse gas emissions, soil degradation, and reduced production profitability. This necessitates the optimization of nitrogen fertilization for corn using synthetic fertilizers under climate change conditions and increasing demands for agroecosystem sustainability. The aim of the study is to determine the effect of different nitrogen fertilizer forms on corn yield and grain quality. The field experiment was conducted under the soil and climatic conditions of the Shyshaky district in Poltava region, using the RGT Maxxalia corn hybrid. The experimental design included the following nitrogen fertilizer application variants: (1) control (no fertilizers applied); (2) UAN-32 (200 kg/ha); (3) urea (150 kg/ha); and (4) anhydrous ammonia (85 kg/ha). Soil analysis at different depths showed that the highest nitrogen concentration was observed with UAN-32 application, which contributed to a greater residual nitrogen content after six months. It was established that the application of UAN-32 (200 kg/ha) ensured maximum nitrogen uptake and increased the yield to 7.25 t/ha, which was 21.3 % higher compared to the control. The application of urea (150 kg/ha) and anhydrous ammonia (85 kg/ha) also increased productivity, but their efficiency was lower due to nitrogen transformation processes in the soil. The highest 1000 kernel weight was recorded with UAN-32 fertilization – 301 g, while it was lower in other treatments: by 6 g (2.0 %) with anhydrous ammonia, by 15 g (5.0 %) with urea, and by 35 g (11.6 %) in the control. The test weight of corn grains ranged from 785 to 793 g/L and depended on the nitrogen fertilizer form, being the highest with UAN-32 application and the lowest in the control treatment. A similar impact of fertilizer systems was found on protein, fat, and starch content: control – 7.2 %, 5.5 %, 65.0 %; UAN-32 – 11.0 %, 6.8 %, 69.0 %; urea – 8.5 %, 6.0 %, 66.5 %; anhydrous ammonia – 10.0 %, 6.4 %, 68.0 %, respectively. The obtained results emphasize the importance of the rational use of nitrogen fertilizers to enhance corn yield while minimizing the negative impact on the ecosystem.

Keywords: UAN-32, urea, anhydrous ammonia, moisture, test weight, 1000 kernel weight, protein, fat, starch.

Врожайність і якість зерна кукурудзи залежно від форм азотних добрив

А. Ю. ЛЯХНО

Полтавський державний
аграрний університет,
м. Полтава, Україна

Азот є поживною речовиною, яка найбільше обмежує ріст і розвиток культур; однак його нераціональне використання спричиняє негативні наслідки, зокрема викиди парникових газів і деградацію ґрунтів, зменшує прибутковість виробництва. Це обумовлює необхідність оптимізації азотного живлення кукурудзи з використанням синтетичних добрив в умовах змін клімату та зростаючих вимог до екологічної стійкості агросистем. Метою дослідження є визначення впливу форм азотних добрив на врожайність і якість зерна кукурудзи. Польовий дослід закладено у ґрунтово-кліматичних умовах Шишацького району Полтавської області з використанням гібриду кукурудзи RGT Максалия. Схема дослідження передбачала наступні варіанти внесення азотних добрив: 1 – контроль (без внесення добрив); 2 – КАС-32 (200 кг/га); 3 – карбамід (150 кг/га); 4 – безводний аміак (85 кг/га). Результати аналізу ґрунтів у різних шарах засвідчили, що найбільша концентрація вмісту азоту отримана за внесення КАС-32, що сприяло його більшому залишку через 6 місяців. Встановлено, що застосування КАС-32 (200 кг/га) сприяє максимальному засвоєнню азоту та підвищенню врожайності до 7,25 ц/га, що на 21,3 % більше порівняно з контролем. Внесення карбаміду (150 кг/га) та безводного аміаку (85 кг/га) також сприяло зростанню продуктивності, однак їхня ефективність була нижчою через особливості трансформації азоту в ґрунті. Визначено найбільшу масу 1000 насінин за удобрення КАС-32 – 301 г, тоді як на всіх інших варіантах удобрення вона є меншою: за удобрення безводним аміаком – на 6 г (2,0 %), карбамідом – на 15 г (5,0 %), контролі – на 35 г (11,6 %). Показник натури зерен кукурудзи перебував у межах від 785 до 793 г/л і залежав від форми азотного удобрення: найбільший – за внесення КАС-32, тоді як найменший – на контролі. Відповідний вплив систем удобрення визначено й для вмісту білка, жиру та крохмалю: контроль – 7,2 %, 5,5 %, 65,0 %; КАС-32 – 11,0 %, 6,8 %, 69,0 %; карбамід – 8,5 %, 6,0 %, 66,5 %; безводний аміак – 10,0 %, 6,4 %, 68,0 % відповідно. Отримані результати підкреслюють важливість раціонального використання азотних добрив для підвищення врожайності кукурудзи та мінімізації негативного впливу на екосистему.

Ключові слова: КАС-32, карбамід, безводний аміак, вологість, натура, маса 1000 зерен, білок, жир, крохмаль.

Бібліографічний опис для цитування: Ляхно А. Ю. Врожайність і якість зерна кукурудзи залежно від форм азотних добрив. *Scientific Progress & Innovations*. 2025. № 28 (1). С. 43–49.

Вступ

Кукурудза вирощується в усьому світі з щорічним обсягом виробництва понад 1,2 млрд тон, що свідчить про 45 % ріст врожаю зерна для задоволення потреб очікуваного зростання населення до 9,7 млрд осіб до 2050 р. [1]. У світі кукурудза разом з пшеницею (793,2 млн т) і рисом (532,9 млн т) є важливими продовольчими культурами у світовому виробництві зерна [2], відіграє різноманітну та динамічну роль у глобальних агропродовольчих системах та продовольчій/харчовій безпеці [3, 4]. У світі близько 20 % зерна кукурудзи йде на продовольчі потреби, 15–20 % – на технічні потреби, 60–65 % – на корм для сільськогосподарських тварин [5].

Площа посівів кукурудзи в Україні, яка в 2024 р. посіла 7 місце у світовому виробництві кукурудзи з показником у 26,5 млн т, становить 4,1 тис. га з продуктивністю – 6,46 т/га. Доцільно відмітити, що до повномасштабного вторгнення площа посівів була на 13,7 % більше, як і врожайність на 18,9 %, що дозволило отримати продукції у 2,7 рази більше [6]. В 2023 р. відбулось поступове збільшення посівних площ і врожайності до 4,2 тис. га і 7,74 т/га відповідно, що дозволило отримати врожай у 32,5 млн га, але несприятливі кліматичні умови (посуха за високих температур) зменшили врожайність на 16,5 % і обсяг продукції на 18,5 %. Лідерами за обсягами вирощування кукурудзи є Полтавська (13 %), Чернігівська (11 %), Вінницька та Сумська (по 10 %), Черкаська (8 %) області.

Беручи до уваги високий продуктивний потенціал сучасних гібридів кукурудзи (14–15 т/га) та середній рівень урожайності (7 т/га) в Україні, можна констатувати недостатню реалізацію генетичного потенціалу культури [7]. Азотні добрива відіграють важливу роль у підвищенні врожайності кукурудзи та покращенню поживної цінності [8, 9]. Важливо підкреслити, що підвищений рівень внесення азотних добрив призводить до врожайності, близької до максимальної, а надлишок азоту призводить до забруднення навколишнього середовища [10], погіршує хімічні, біологічні та фізичні властивості ґрунту [11].

За даними досліджень [12], близько 26 % продуктивності культури визначається рівнем азотного живлення, тоді як погодні фактори впливають на врожайність на 27 %. У сприятливих кліматичних умовах ці чинники взаємодіють, забезпечуючи понад половину загального врожаю. Водночас у посушливі періоди вплив погоди стає лімітуючим фактором, що знижує ефективність засвоєння азоту рослинами.

Однак неоднозначність щодо оптимальної норми азоту може призвести до втрати прибутку. Надмірне споживання добрив може призвести до надлишку азоту, який може потрапити в ґрунтові та поверхневі водні шляхи [13]. Автори [14] повідомили, що надмірне внесення азотних добрив призводить до забруднення повітря та води внаслідок випаровування, денітрифікації, вимивання та стоку. Невизначеність щодо найефективнішої норми азотних добрив може призвести до фінансових втрат. Ціни на добрива продовжують щорічно зростати, зменшуючи прибутки фермерів.

Ефективність засвоєння азоту рослинами залежить від їхньої здатності поглинати його з ґрунту у формі нітратів амонію та органічного азоту, трансформованого мікробіотою [15]. Оптимальна норма внесення мінерального азоту визначається відповідно до запланованої врожайності та становить приблизно N 15 для родючих ґрунтів і N 20 для малородючих. Для підвищення засвоєваності кожні 10 кг азоту необхідно збалансувати 1 кг сірки [16].

Здатність кукурудзи ефективно засвоювати азот також визначається її генетичними особливостями. Зокрема, інтенсивні гібриди позитивно реагують на підвищене азотне живлення, тоді як пластичні генотипи здатні забезпечувати стабільну продуктивність навіть на бідних ґрунтах і за низьких рівнів азоту [17, 18]. Необхідно також відзначити, що ефективність засвоєння азоту залежить не тільки від норми, але й від його форми, технології та строків внесення, використання поливу тощо. Нерівномірність і нестабільність внесення добрив досягає 20–40 % [19] і призводить до втрати врожаю зерна [20].

Отже, для досягнення максимальної ефективності використання ресурсів і забезпечення високої врожайності культури необхідно визначити оптимальну систему удобрення, дозування та строки внесення азотних добрив залежно від попередника та стану ґрунтів [21].

Мета дослідження

Мета дослідження – визначення впливу форм азотних добрив на врожайність і якість зерна кукурудзи.

Завдання дослідження:

- розглянути зміну вмісту азоту в різних шарах ґрунту за різних форм азотного удобрення;
- проаналізувати врожайність кукурудзи за різних форм азотних добрив;
- визначити вплив форми азотних добрив на якість зерна кукурудзи.

Матеріали і методи

Для досягнення поставленої мети нами закладено польовий дослід у ґрунтово-кліматичних умовах ВП «Гоголеве» ТОВ «Агрофірма імені Довженка» (с. Гоголеве, Шишацький район, Полтавська область) [22]. Дослідні ділянки характеризуються чорноземом типовим малогумусним і сильно реградованим із вмістом азоту – 130,2 мг/кг, фосфору – 144,0 мг/кг, калію – 136,3 мг/кг.

Після збирання цукрових буряків було проведено розпушування ґрунту на глибину 26 см за допомогою трактора Case IH 600 Steiger з глибокорозпушувачем Wil-Rich Soilpro SP 513 7-24, після чого виконано вирівнювання поверхні трактором John Deere 8295 R з агрегатом БШЗ-21. Дослід передбачав виділення чотирьох ділянок площею по 7 га, на яких було відібрано ґрунтові проби для визначення вмісту азоту на глибинах 0–20 см, 20–40 см і 40–60 см з триразовою повторністю.

18 листопада 2023 р. було закладено наступні варіанти досліду:

- 1 – контроль (без внесення добрив);
- 2 – КАС-32 (200 кг/га);
- 3 – карбамід (150 кг/га);
- 4 – безводний аміак (85 кг/га).

Того ж дня на дослідних ділянках було проведено культивування ґрунту трактором John Deere 8295R з культиватором Wil-Rich Quad-X3 (ширина захвату – 11,2 м) на глибину 12 см із заробкою добрив. Після цього повторно відібрано проби ґрунту для визначення вмісту азоту на глибинах 0–20 см, 20–40 см і 40–60 см, з триразовою повторністю.

Передпосівні операції включали:

1. Боронування (закрыття вологи) – борона шлейфова зубова БШЗ-21 з трактором John Deere 8345 R.

2. Передпосівну культивування – трактор Fendt 936 Varjo з дисковою бороною LEMKEN Gigant 10/1000 (ширина захвату – 10 м);

3. Внесення ґрунтового гербіциду Аценіт А (2 л/га) – самохідний обприскувач John Deere 4730 (норма вилливу робочого розчину – 200 л/га).

12 квітня 2024 р. проведено посів кукурудзи гібриду RGT Максалия (ФАО 250) сівалкою KINZE 3600 в агрегаті з трактором John Deere 8345 R із нормою висіву 60 тис. насінин/га.

У травні внесено страхові гербіциди Таск Екстра (0,44 кг/га) + Тренд 90 (0,25 л/га) самохідним обприскувачем John Deere 4730.

19 травня повторно відібрано проби ґрунту для визначення вмісту азоту на глибинах 0–20 см,

20–40 см і 40–60 см з кожної ділянки, з триразовою повторністю.

У червні проведено міжрядний обробіток ґрунту трактором МТЗ-1221 з міжрядним культиватором КРН (ширина захвату – 5,6 м) та дискування між варіантами досліду трактором МТЗ-82 з дисковою бороною АГ-2,4.

Облік врожаю проведено шляхом повного обмолочування зерна з кожної дослідної ділянки з подальшим коригуванням показників до 100 % чистоти та 14 % базисної вологості [23]. Аналіз якості зерна зазначено за результатами лабораторних досліджень. Фізичні та хімічні показники якості зерна кукурудзи аналізувались згідно з ДСТУ 4525:2006 «Кукурудза. Технічні умови» [24], ДСТУ 10840:2019 «Зерно. Метод визначення натурності» [25], ДСТУ 4138-2002 «Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості» [26].

Результати та їх обговорення

На основі отриманих результатів аналізу визначимо вплив різних форм азотних добрив на його вміст у ґрунті на різних глибинах впродовж з листопада 2023 р. по травень 2024 р. (рис. 1). Проведені досліди засвідчили різний вміст азоту в ґрунті за різної глибини в результаті внесення різних форм і норм синтетичних азотних добрив, згідно з схемою дослідження [27].

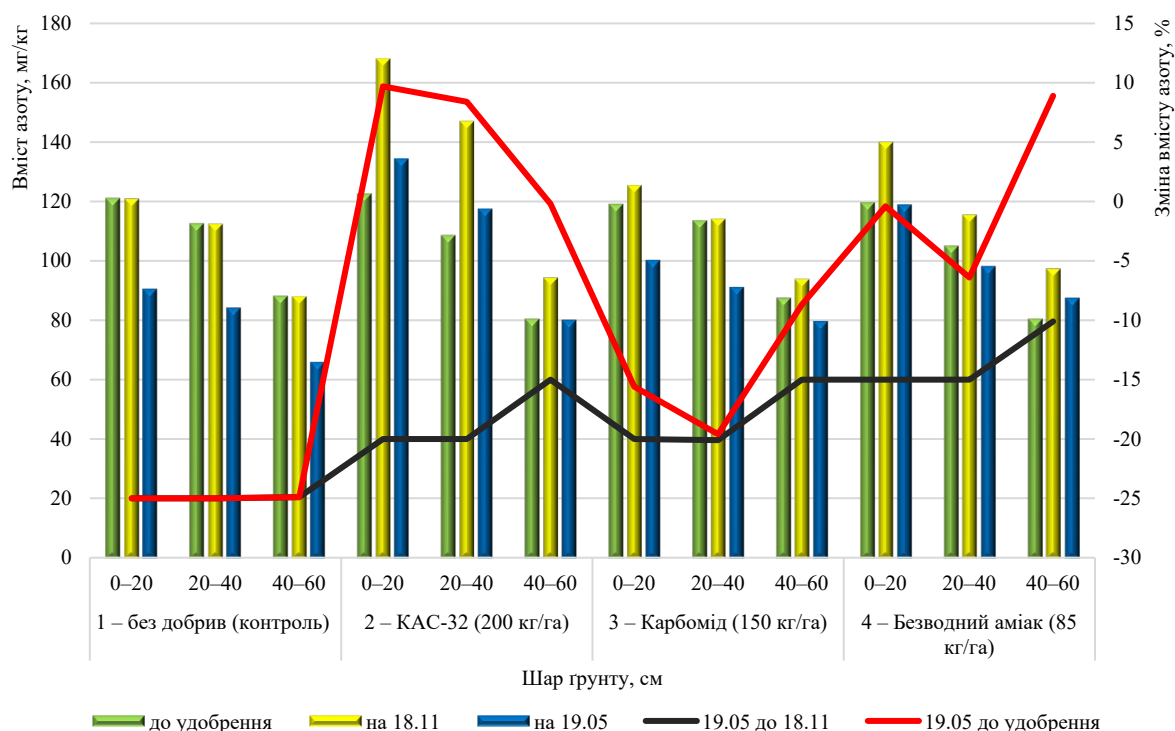


Рис. 1. Аналіз вмісту та втрат азоту в шарах ґрунту за різних форм азотних добрив

Результати досліджень засвідчили, що найбільший вплив на вміст азоту в ґрунті спостерігався на ділянці, де внесено КАС-32 (200 кг/га). Це призвело до підвищення концентрації азоту на 37,1 %, 36,5 % і 17,4 % у шарах ґрунту 0–20 см, 20–40 см і 40–60 см відповідно. Завдяки цьому

залишковий вміст азоту через 6 місяців становив від 80,3 до 134,4 мг/кг [28]. Найбільші втрати азоту (20,0 %) зафіксовано у верхньому та середньому шарах ґрунту, але при цьому його вміст залишався найбільшим серед інших дослідних ділянок.

На ділянці, де внесено карбамід (150 кг/га), зафіксовано найменше зростання вмісту азоту в ґрунті – на 5,5–7,4 %, причому найбільші зміни спостерігалися в шарі 40–60 см. Низька ефективність карбаміду пояснюється тим, що він ще не повністю трансформувався у доступні для рослин форми. Порівняно з внесенням КАС-32, рівень азоту в ґрунті на цій ділянці був нижчим на 10,0–31,6 %. Протягом 6 місяців втрати азоту становили 15,0–20,0 %, що призвело до його зменшення відносно початкового рівня на 8,7–19,6 %, із залишковими показниками 79,9–100,4 мг/кг (*рис. 1*).

На ділянці, де застосовано безводний аміак (85 кг/га), найбільше підвищення вмісту азоту відбулося в шарі 0–20 см (на 20,5 мг/кг або 17,2 %) і в шарі 40–60 см (на 17 мг/кг або 21,1 %). Оскільки аміачна форма азоту поступово фіксується в ґрунті та не вимивається в осінньо-зимовий період, очікуваний ефект його доступності для рослин розрахований на період їх вегетації. Через 6 місяців втрати азоту на ділянці були найнижчими (10,1–15,0 %), а його залишковий рівень у шарі

40–60 см виявився найбільшим, порівнюючи з іншими варіантами, та перевищував початковий показник на 8,9 %.

На контрольній ділянці вміст азоту в усіх шарах ґрунту виявився найменшим, а втрати азоту становили 25 %, що підтверджує необхідність внесення азотних добрив і необхідність визначення їх оптимальних форм і доз.

Результати обліку врожайності (*табл. 1*) свідчать, що вона залежить від форми та норми внесених азотних добрив, оскільки впливає на вміст цього елемента в ґрунті. Так, найменшу врожайність отримано на контрольній ділянці – 59,8 ц/га, що становить 82,5 % за удобрення КАС-32, 87,4 % – карбамідом і 85,8 % – безводним аміаком. Найбільшу врожайність за удобрення КАС-32 отримано завдяки найбільшому вмісту азоту у верхньому шарі ґрунту, оскільки 80 % урожаю кукурудзи на чорноземних ґрунтах утворюється за рахунок елементів живлення із шару ґрунту 0–35 см [29]. Також за цієї форми удобрення отримано найбільших густот стояння рослин – 53 тис. шт./га [30].

Таблиця 1

Показники врожайності й якості зерна кукурудзи гібриду RGT Макксалія за різних форм азотного удобрення

Дослідна ділянка	Урожайність, ц/га	Маса 1000 насінин, г	Натура зерна, г/л	Вологість, %	Масова частка, %		
					білка	жиру	крохмалю
Контроль	59,8	266	785	13,6	7,2	5,5	65,0
КАС-32 (200 кг/га)	72,5	301	793	12,4	11,0	6,8	69,0
Карбамід (150 кг/га)	68,4	286	788	13,0	8,5	6,0	66,5
Безводний аміак (85 кг/га)	69,7	295	790	13,1	10,0	6,4	68,0

Таким чином, найбільш ефективним виявилось удобрення КАС-32 (200 кг/га), але навіть за цих умов фактична врожайність становила 71,1 % від потенційно можливої в 102 ц/га, яку отримано в 2021 р. у Лубенському районі [31]. При цьому гібрид характеризується високою посухостійкістю та вологовіддачею (на рівні 9 балів), що забезпечили його лідерство у кліматичних зонах від достатнього зволоження до посух, а рекомендована густина стояння рослин в умовах Лісостепу складає 68–72 тис. шт./га [32].

Розглянемо реакцію гібриду КВС 2370 (ФАО 280) за різних погодних умов вирощування впродовж двох років поспіль в одній місцевості (Миргородський район, Полтавська область). У посушливому 2017 р. (105 мм опадів) максимальна врожайність становила 6,2 т/га за густоти 58 тис. шт./га. В більш сприятливому 2016 р. (286 мм опадів) даним гібридом сформовано максимальну врожайність 10,4 т/га за достатньо високої густоти стояння рослин – 94 тис. шт./га. При цьому, мінімальна врожайність у 2016 р. становила не менше 9,6 т/га за густоти 66,5 тис. шт./га [33]. Отже, врожайність гібрида RGT Макксалія за різних форм азотного удобрення необхідно досліджувати за різних погодних умов і густоти, щоб визначити їх вплив.

За даними результатів дослідження (див. *табл. 1*) показники структури врожаю й якості зерна кукурудзи змінювались залежно від схеми дослідження.

Так, найбільшу масу 1000 насінин отримано за удобрення КАС-32 – 301 г, тоді як на всіх інших дослідних ділянках вона є меншою: за удобрення безводним аміаком – на 6 г (2,0 %), карбамідом – на 15 г (5,0 %), контролі – на 35 г (11,6 %). Однак, за сортовим потенціалом маса 1000 насінин гібриду RGT Макксалія має становити 310–330 г [34].

Результати досліджень свідчать, що на масу 1000 насінин кукурудзи істотно впливають кліматичні умови року, генетичні особливості кожного гібриду та спосіб сівби [35]. Отже, недоотримання врожаю гібрида RGT Макксалія напряму пов'язано з меншою масою 1000 насінин, що може бути як наслідком несприятливих погодних умов 2024 р. (недолік опадів за високих температур), так і через недолік поживних речовин, що можливо виправити за рахунок використання гумінових препаратів [36]. Так, для формування 1 тонни зерна кукурудзи за відповідної маси стебел і листя споживається приблизно 24–30 кг азоту, 10–12 кг фосфору, 25–30 кг калію, по 6–10 кг магнію та кальцію, 3–4 кг сірки, 11 г бору, 14 г міді, 110 г марганцю, 0,9 г молібдену, 85 г цинку, 200 г заліза [37].

Показник натури зерна кукурудзи не регулюється ДСТУ 4525:2006 і не є обов'язковим для оцінки партії, як це вимагається для пшениці, вівса, жита й ячменю. Але цей показник важливий з точки зору оцінки виповненості зерна пов'язаний із процесом його дозрівання та свідчить про завершення синтезу поживних речовин [38].

Показник натурн зерен кукурудзи гібрида RGT Макксалія перебував у межах від 785 до 793 г/л і залежали від форми азотного удобрення. Найбільший показник отримано за внесення КАС-32, тоді як найменший – на контролі. При цьому проміжні значення натурн в 790 і 788 г/л отримано за удобрення безводним аміаком і карбамідом відповідно.

Вміст вологи в зерні позначається на його придатності до зберігання. За надмірної вологості відбувається активізація процесів дихання зерна, створюються сприятливі умови для розвитку мікроорганізмів, що може призвести до псування зерна та погіршення якості продукції. Вологість – це ключовий показник, який має технологічне та фізіологічне значення для насіння кукурудзи [39].

Відповідно ДСТУ 4525:2006 вологість зерна кукурудзи повинна бути не більше 15 %, що відповідає отриманим результатам дослідження (див. *табл. 1*) і перебуває в межах 12,4–13,6 %. Найбільш вологе зерно отримано на контрольній ділянці, а найменш – за удобрення КАС-32.

Склад зерна кукурудзи визначається переважно генетичними факторами, умовами навколишнього середовища та агротехнічними заходами. До важливих показників його якості належать білок, жир і крохмаль. Їх концентрація у зерні кукурудзи визначає його придатність для різних сфер використання: тваринництво (високий вміст білка), харчова промисловість (баланс білка і крохмалю), виробництво біопалива (високий вміст крохмалю), промисловість (високий вміст жиру) [40].

Накопичення білка в зерні кукурудзи значною мірою залежить від наявності азоту в ґрунті. Використовуючи високопротеїнові гібриди й ефективні стратегії азотного живлення можна суттєво впливати на кінцеву концентрацію білка. При цьому необхідно враховувати, що температурний режим і кількість опадів також впливають на засвоєння азоту та синтез білка [15, 41].

За результатами наших досліджень вміст білка у зерні кукурудзи був найбільшим за удобрення КАС-32 – 11,0 %, тоді як за удобрення безводним аміаком – менше на 1,0 %, карбамідом – на 2,5 %, контролі – на 3,8 %.

Біосинтез жирів у кукурудзі відбувається переважно в зародку зерна, де накопичення олії регулюється генетичними особливостями та рівнем живлення. Вміст жиру варіюється залежно від гібриду, а окремі сорти спеціально виведені для отримання високого виходу олії. Однак, на ліпідний обмін і кінцеву концентрацію жиру значний вплив мають співвідношення азоту та інших макроелементів [42].

В нашому дослідженні вміст жиру визначено в межах 5,5–6,8 %, де найбільший показник – з удобрення КАС-32, а найменший – на контролі. За удобрення безводним аміаком і карбамідом вміст жиру становив 94,1 і 88,2 % від удобрення КАС-32, що свідчить про більшу ефективність останнього.

Крохмаль є основним компонентом зерна кукурудзи, його синтез відбувається в процесі вуглеводного обміну на етапі наливу зерна. Його накопичення залежить від рівня фотосинтетичної активності, доступності води та калію в ґрунті. Колювання

температури та посухи можуть змінювати структуру крохмалю, що впливає на твердість зерна та його технологічні властивості [43].

Відповідно до отриманих даних по гібриду RGT Макксалія показник вмісту крохмалю в зерні були в межах 65,0–69,0 %. При цьому, найбільший вміст крохмалю отримано за внесення КАС-32, а найменший – на контролі. Удобрення безводним аміаком і карбамідом сприяли вмісту крохмалю на рівні 98,6 і 96,4 % від удобрення КАС-32, що демонструє його більшу ефективність.

Таким чином, забезпечення оптимальних умов і форм азотного удобрення сприяє формуванню більшої врожайності й якості зерна кукурудзи, що підвищує її поживну цінність і робить її більш важливою для сільського господарства в майбутньому [44].

Висновки

Результати проведеного дослідження засвідчили значний вплив форми та норми внесення азотних добрив на вміст азоту в ґрунті, рівень його засвоєння рослинами та кінцеву врожайність кукурудзи. Найвищий рівень засвоєння азоту було зафіксовано при застосуванні КАС-32 (200 кг/га), що забезпечило максимальну врожайність (72,5 ц/га) та високі показники якості зерна. Внесення карбаміду (150 кг/га) та безводного аміаку (85 кг/га) також сприяло підвищенню продуктивності культури, проте меншою мірою, що зумовлено особливостями трансформації азоту в ґрунті.

Встановлено, що ефективність засвоєння азоту залежить не лише від його форми, а й від технології та строків внесення, що впливає на кінцеві показники врожайності та якісні характеристики зерна. Зокрема, оптимальні умови живлення сприяли підвищенню маси 1000 насінин та вмісту білка в зерні, що є важливими показниками його товарної якості. Тому необхідно визначити найбільш ефективні форми азотного удобрення, враховуючи стан ґрунту, потреби культури та агрокліматичні умови.

Перспективи подальших досліджень полягають у дослідженні впливу погодних умов на якість зерна і врожайність кукурудзи за різних форм азотного удобрення.

Конфлікт інтересів

Автор стверджує про відсутність конфлікту інтересів щодо викладу та результатів досліджень.

References

1. Hubert, B., Rosegrant, M., van Boekel, M. A. J. S., & Ortiz, R. (2010). The Future of Food: Scenarios for 2050. *Crop Science*, 50, 33–50. <https://doi.org/10.2135/cropsci2009.09.0530>
2. Shahbandeh, M. (2025). Grain production worldwide 2024/25, by type. *Statista*. Retrieved from: <https://www.statista.com/statistics/263977/world-grain-production-by-type/>
3. Grote, U., Fasse, A., Nguyen, T. T., & Erenstein, O. (2021). Food security and the dynamics of wheat and maize value chains in Africa and Asia. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 617009. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.617009>

4. Poole, N., Donovan, J., & Erenstein, O. (2021). Agri-nutrition research: Revisiting the contribution of maize and wheat to human nutrition and health. *Food Policy*, 100, 101976. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2020.101976>
5. Tsyhanskyi, V. I. (2022). Formation of corn productivity depending on the use of modern biological fertilizers in the Forest-steppe right bank. *Agriculture and Forestry*, 27, 15–24. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2022-4-2>
6. Ukraine corn area, yield and production. *USDA*. Retrieved from: <https://ipad.fas.usda.gov/countrysummary/Default.aspx?id=UP&crop=Corn>
7. Yermakova, L. M., & Krestianinov, Ye. V. (2016). Maize yields in reliance on fertilizers and hybrids on dark gray ashed soils. *Scientific Progress & Innovations*, 4, 63–65. <https://doi.org/10.31210/visnyk2016.04.12>
8. Selassie, Y. G. (2015). The effect of N fertilizer rates on agronomic parameters, yield components and yields of maize grown on Alfisols of North-western Ethiopia. *Environmental Systems Research*, 4 (1). <https://doi.org/10.1186/s40068-015-0048-8>
9. Miao, Y., Mulla, D. J., Robert, P. C., & Hernandez, J. A. (2006). Within-field variation in corn yield and grain quality responses to nitrogen fertilization and hybrid selection. *Agronomy Journal*, 98(1), 129–140. <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0120>
10. Kasno, A., Rivaie, A. A., Tafakresnanto, C., Pratiwi, E., Karmawati, E., Siregar, A. F., Hatta, M., & Sutriadi, M. T. (2024). Nitrogen dynamic and precise management to predict corn yield in tropical upland acid soils. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 10 (4), 1843–1858. <https://doi.org/10.22034/gjesm.2024.04.21>
11. Chaika, T. O., Korotkova, I. V., & Lotysh, I. I. (2024). Osoblyvosti vyroshchuvannya kukurudzy metodamy orhanichnoho silskoho hospodarstva. *Urozhainist ta yakist produktii roslinnytstva za suchasnykh tekhnolohii vyroshchuvannya, prysviachena pamiati profesora H. P. Zhemely: materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii*. Poltava: PDAU [in Ukrainian]
12. Below, F. (2018). The seven wonders of the corn yield world. Retrieved from: http://cropphysiology.cropsci.illinois.edu/research/seven_wonders.html
13. Cantarella, H., Otto, R., Soares, J. R., & Silva, A. G. B. (2018). Agronomic efficiency of NBPT as a urease inhibitor: A review. *Journal of Advanced Research*, 13, 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2018.05.008>
14. Morris, T. F., Murrell, T. S., Beegle, D. B., Camberato, J. J., Ferguson, R. B., Grove, J., Ketterings, Q., Kyverya, P. M., Laboski, C. A. M., McGrath, J. M., Meisinger, J. J., Melkonian, J., Moebius-Clune, B. N., Nafziger, E. D., Osmond, D., Sawyer, J. E., Scharf, P. C., Smith, W., Spargo, J. T., van Es, H. M., & Yang, H. (2018). Strengths and limitations of nitrogen rate recommendations for corn and opportunities for Improvement. *Agronomy Journal*, 110 (1), 1–37. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.02.0112>
15. Ivaniuk, V., Hnativ, P., & Olifir, Yu. (2022). Influence of nitrogen fertilizers on the formation of corn grain yield and nitrogen use efficiency. *Bulletin of Lviv National Environmental University. Series Agronomy*, 26, 170–176. <https://doi.org/10.31734/agronomy2022.26.170>
16. Lykhochvor, V. V., & Petrychenko, V. F. (2021). *Fiziolohichna rol elementiv zhyvlennia ta systemy udobrennia polovykh kultur (3-tie vyd., pererobl.)*. Lviv: Ukrainski tekhnolohii [in Ukrainian]
17. Lohinova, I. (2019). Sekrety kukurudzianoho uspihku. *Ahroindustrialia*, 7, 22–32. [in Ukrainian]
18. Kutsenko, O. M., Liashenko, V. V., Chaika, T. O., & Keda, L. Yu. (2023). Peculiarities of growth, development, and formation of corn hybrids' productivity depending on sowing time. *Taurian Scientific Herald*, 134, 79–88. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.134.12>
19. Nukeshev S., Eshkozhin, D., Lichman, G., Karaivanov, D., Zolotukhin, E., & Syzdykov, D. (2016). Theoretical substantiation of the design of a seeding device for differentiated intra soil application of mineral fertilizers. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 64 (1), 115–122. <https://doi.org/10.11118/actaun201664010115>
20. Tekin, A. B., & Sindir, K. (2014). Performance assessment of variable rate spinner disc fertilizer spreader – “PreFer”. *Agricultural Engineering*, 2, 43–52.
21. Onoprienko, D. M. (2020). Efficient Use of solid and water soluble fertilizers for corn production in the Northern Part of Steppe Zone of Ukraine. *Series II: Forestry Wood Industry Agricultural Food Engineering*, 13(62)(2), 139–148. <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2020.13.62.2.12>
22. Korotkova, I. V., & Liakhno, A. Yu. (2024). Dynamika vmistu azotu u grunti zalezho vid form azotnykh dobryv pry vyroshchuvanni kukurudzy na zerno. *Ahrarni innovatsii*, 23, 92–97. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.23.13> [in Ukrainian]
23. Volkodav, V. V. (Ed.). (2001). *Metodyka derzhavnoho sortovyprobuvannya silskohospodarskykh kultur. Vypusk. 2. Zernovi, krupiani ta zernobobovi kultury*. Kyiv: Alefa [in Ukrainian]
24. *DSTU 4525:2006. Kukurudza. Tekhnichni umovy*. Chynyi vid 2007-04-01. (2007). Kyiv. Retrieved from: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=73139 [in Ukrainian]
25. *DSTU 10840:2019. Zerno. Metod vyznachennia natyry*. Chynnyi vid 2019-01-01. (2019). Kyiv. Retrieved from: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=89079 [in Ukrainian]
26. *DSTU 4138-2002. Nasinnia silskohospodarskykh kultur. Metody vyznachennia yakosti*. Chynnyi vid 2004-01-01. (2003). Kyiv. Retrieved from: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=91465 [in Ukrainian]
27. Korotkova, I. V., & Liakhno, A. Yu. (2024). Vplyv azotnykh dobryv na hustotu skhodiv i fazu rozvytku kukurudzy na zerno. *Khimiia, biotekhnolohiia, ekolohiia ta osvita: VIII Mizhnarodna naukovo-praktychna internet-konferentsiia*. Poltava: PDAU [in Ukrainian]
28. Liakhno, A. Yu. (2024). Otsinka form azotnykh dobryv u zabezpechenni vrozhaivosti kukurudzy. In T. O. Chaika (Ed), *Zbalansovanyi rozvytok ekosystem: suchasnyi stan i perspektivy: kolektyvna monohrafiia*. (s. 183–191). Poltava: Astraia [in Ukrainian]
29. Masliov, S. V., Matsai, N. Yu., Tsyhankova, N. A., & Sakhno, M. A. (2018). Effect of predecessors, soil cultivation and fertilization on the harvest and the quality of cereal grains of corn in the conditions of Luhansk region. *Scientific Progress & Innovations*, 4, 18–23. <https://doi.org/10.31210/visnyk2018.04.02>
30. Liakhno, A. Yu., & Korotkova, I. V. (2024). Efektyvnist form azotnykh dobryv u zabezpechenni vrozhaivosti hibrivid kukurudzy. *Urozhainist ta yakist produktii roslinnytstva za suchasnykh tekhnolohii vyroshchuvannya, prysviachena pamiati profesora H. P. Zhemely: Mizhnarodna naukovo-praktychna internet-konferentsiia*. Poltava : PDAU [in Ukrainian]
31. RZHT Makksaliia. *Eridon*. <https://www.eridon.ua/rjt-makksaliya> [in Ukrainian]
32. RZHT Makksaliia. *Eridon*. Retrieved from: <https://ragt.ua/wp-content/uploads/PJKT-MAKKKAJIJA.pdf> [in Ukrainian]
33. Kalambet, V. (2017). Vplyv strukturnykh pokaznykiv na vrozhaivist kukurudzy. *Kurkul*. Retrieved from: <https://kurkul.com/blog/515-vplyv-strukturnykh-pokaznykiv-na-vrojainist-kukurudzi> [in Ukrainian]
34. Kukurudza Makksaliia (FAO 250). *SuperAgronom.Com*. Retrieved from: <https://superagronom.com/nasinnya-kukurudza/makksaliya-ragt-id10606> [in Ukrainian]
35. Stepanenko, M. V., & Grabovsky, M. B. (2023). Influence of sowing methods on the formation of 1000 grains weight in maize hybrids. *Taurian Scientific Herald*, 133, 159–164. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.133.21>
36. Korotkova, I. V., & Chaika, T. O. (2022). Rol huminovykh preparativ ta yikh kombinatsii z mineralnymi dobryvamy v tekhnolohiiakh vyroshchuvannya pshenytsi ozymoi. In T. O. Chaika (Ed.), *Ekolohoorientovani pidkhody vidnovlennia tekhnohennno zabrudnenykh terytorii i stvorennya stalnykh ekosystem : kolektyvna monohrafiia*. (S. 279–322). Poltava : Astraia [in Ukrainian]
37. Tekhnolohiia pidzhyvlennia kukurudzy makro- i mikroelementamy. (2020). *Agronom*. Retrieved from: <https://www.agronom.com.ua/tehnologiya-pidzhyvlennya-kukurudzy-makro-i-mikroelementamy-yih-znachennya-ta-zastosuvannya-v-posivah-kukurudzy> [in Ukrainian]
38. Shcho take natura zerna ta yak yii vyznachyty? (2022). *VentaLab*. Retrieved from: <https://ventalab.ua/shcho-take-natura-zerna-ta-yak-yii-vyznachyty/> [in Ukrainian]
39. Kyrpa, M. Ia., & Lukianenko, T. M. (2024). Volohist nasinnia kukurudzy – tekhnolohichne znachennia ta metody vyznachennia. *Ahrarni Innovatsii*, 23, 151–155. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.23.23> [in Ukrainian]
40. Biswas, D. K., & Ma, B. L. (2016). Effect of nitrogen rate and fertilizer nitrogen source on physiology, yield, grain quality, and nitrogen use efficiency in corn. *Canadian Journal of Plant Science*, 403, 392–403. <https://doi.org/10.1139/cjps-2015-0186>

41. Oktem, A. G., & Emeklier, H. Y. (2010). Effect of nitrogen on yield and some quality parameters of sweet corn. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 41 (7), 832–847. <https://doi.org/10.1080/00103621003592358>
42. Krestianinov, Ye. V., Yermakova, L. M., & Antal, T. V. (2019). formuvannia vrozhaiu ta yakosti zerna kukurudzy zalezno vid fonu ta pozakorenevoho pidzhyvlennia posiviv v umovakh Livoberezhnoho Lisostepu. *Roslynnystvo ta Gruntoznavstvo*, 10 (1), 18–26. <https://doi.org/10.31548/agr2019.01.018> [in Ukrainian]
43. Zhuikov, O. H., & Davydenko, I. A. (2024). Foliar feeding of corn with microfertilizers – an effective element of technology or a “trend”? *Taurian Scientific Herald*, 1 (136), 116–124. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.136.1.16>
44. Omar, S., Ghani, R. A., Khaeim, H., Sghaier, A. H., & Jolánkai, M. (2022). The effect of nitrogen fertilisation on yield and quality of maize (*Zea mays* L.). *Acta Alimentaria*, 51 (2), 249–258. <https://doi.org/10.1556/066.2022.00022>

ORCID

A. Liakhno 

<https://orcid.org/0009-0001-5878-8545>



2025 Liakhno A. This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.