

УДК 633.15:631.814

ВПЛИВ АЗОТНИХ ДОБРИВ НА ФОРМУВАННЯ ВРОЖАЮ ЗЕРНА КУКУРУДЗИ Й ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ АЗОТУ

В. Іванюк, к. с.-г. н.

ORCID ID: 0000-0002-6885-9212

П. Гнатів, д. б. н.

ORCID ID: 0000-0003-2519-3235

Львівський національний університет природокористування

Ю. Оліфір, к. с.-г. н.

ORCID ID: 0000-0002-7920-1854

Інститут сільського господарства Карпатського регіону НААН

<https://doi.org/10.31734/agronomy2022.26.170>

Іванюк В., Гнатів П., Оліфір Ю. Вплив азотних добрив на формування врожаю зерна кукурудзи й ефективність використання азоту

Потенціал врожайності сучасних гібридів кукурудзи значно зріс. Важливо проаналізувати ймовірні оптимальні норми удобрення кукурудзи у зоні Малоого Полісся на дерново-карбонатних ґрунтах для реалізації біотичного потенціалу культури. Метою нашого дослідження було з'ясування агрономічної та економічної доцільності збільшення норми азотного удобрення зернової кукурудзи гібрида компанії *Pioneer P9071 (Maxim XL)* для отримання максимального врожаю. Методи дослідження польові і лабораторні.

Географічні координати розміщення дослідної ділянки: 49°95'31" пн.ш. 24°84'83" сх.д. Повторність варіантів п'ятиразова. Розміщення варіантів рендомізоване. Площа облікової ділянки становила 15 м², посівна – 35 м². Агротехніка вирощування кукурудзи була традиційною із застосуванням полицевого обробітку. Норма висіву гібрида – 78 тис/га. Попередник – пшениця озима.

Математично-статистичну обробку отриманих результатів досліджень та врожайних даних здійснювали з використанням програм *Microsoft Excel* і *Statistica 12.0*. Дані в таблицях та графіку представлені як середнє арифметичне із стандартним відхиленням ($\bar{x} \pm SD$).

Збільшення норм внесення азотних добрив під зернову кукурудзу від N₉₀ до N₁₂₅₋₁₅₀ поліпшує біометричні властивості врожаю за такими показниками: маса зерна у початку та маса 1000 зерен. Урожайність зерна кукурудзи сформувалася максимальною при внесенні норми N₁₅₀, проте вона не істотно відрізнялася від дії норми N₁₂₅ і становила 12,99–13,28 т/га, що на 20,8–23,5 % більше, ніж на контролі без внесення азоту. Віддача кожного додаткового кілограма азоту зерном кукурудзи поступово зменшується. Максимальні норми азоту не поліпшували показники вмісту жирів та протеїнів у зерні та зумовлювали вагоме збільшення виходу поживних кормових речовин до найбільшого рівня – 0,44 т/га жирів та 1,26–1,29 т/га протеїнів. За результатами вивчення впливу норм азотних добрив на продуктивність зернової кукурудзи рекомендуємо вносити N₁₂₅ з поділом норми на дві дози: N₉₀ під передпосівну культивування та N₃₅ вносити в фазі ВВСН 16–17. Це забезпечить отримання 12,99 т/га зерна високої якості за менших витрат азотних туків.

Ключові слова: кукурудза, добрива, азот, урожайність, якість зерна.

Ivaniuk V., Hnativ P., Olifir Y. Influence of nitrogen fertilizers on formation of corn grain yield and efficiency of nitrogen use

The yield potential of modern maize hybrids has increased significantly. It is important to analyze the probable optimal rates of corn fertilization in the Small Polissya zone on sod-carbonate soils to realize the biotic potential of the crop. The aim of our study was to determine the agronomic and economic feasibility of increasing the nitrogen fertilizer rate of Pioneer P9071 (Maxim XL) hybrid corn for maximum yield. The research methods – field and laboratory.

Geographical coordinates of the research site location: 49 ° 95'31 N 24 ° 84'83 " E. Five repetitions of the variants were used. Placement of the variants is randomized. The total area of the plot is 35 m², accounting area – 15 m². Corn cultivation techniques – traditional with the use of shelf cultivation. The planting rates of the hybrid was 78 000 seeds per hectare. Predecessor – winter wheat.

Mathematical and statistical processing of the obtained research results and yield data was carried out using Microsoft Excel and Statistica 12.0. Data in the tables and graphs are presented as arithmetic mean with the standard deviation ($\bar{x} \pm SD$).

Increasing the application of nitrogen fertilizers for corn from N₉₀ to N₁₂₅₋₁₅₀ improved biometric properties of the crop in such indicators as the weight of grain in the cob and the weight of 1000 grains. Maize grain yield was formed maximum when the N₁₅₀ norm was applied, but it did not differ significantly from the N₁₂₅ norm and amounted to 12.99–13.28 t/ha, which was 20.8–23.5 % more than in the control without nitrogen application. The yield of each additional

kilogram of nitrogen in corn grain gradually reduced. Maximum nitrogen levels did not improve the content of fats and proteins in grain, but due to the increase in its collection led to a significant increase in nutrient yield to the highest level – 0.44 t/ha of fats and 1.26–1.29 t/ha of protein. According to the results of studying the effect of nitrogen fertilizer rates on the productivity of corn, the authors of the research recommend applying N_{125} with the division of the rate into two doses: N_{90} for pre-sowing cultivation and N_{35} – in the phase BBCH 16–17. This ensured the production of 12.99 t/ha of high quality grain at lower nitrogen fertilizer costs.

Key words: corn, fertilizers, nitrogen, yield, grain quality.

Постановка проблеми. Потенціал урожайності багатьох сучасних гібридів кукурудзи перевищує 18 т/га. Світового рекорду продуктивності досягнув Девід Гулау 2019 року – 39 т/га [20]. Тоді він перевершив свій же рекорд 2017 року – 33 т/га (у перерахунку на вологість 14 %). Проте реалізація цього потенціалу потребує гармонії біотичних властивостей гібрида з умовами вирощування.

Важливо проаналізувати середню врожайність гібрида в конкретному регіоні, інтенсивність початкового росту, реакцію на ресурси поживних речовин, його посухостійкість, придатність для різних строків сівби, до способів передпосівного обробітку ґрунту, стійкість до шкочинних організмів, тривалості дозрівання і швидкості віддачі вологі.

На продуктивності кукурудзи неабияк позначаються погодні умови [7] – 27 % впливу, а також азот – 26 %. Згідно з цим дослідженням, у сприятливі за погодними умовами роки фактори погоди і азотного живлення об'єднуються, забезпечуючи понад 50 % загального врожаю. Але в посушливі роки погода істотно обмежує позитивну реакцію кукурудзи на використання азоту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

На засвоєння азоту впливають генетичні особливості сортів та гібридів кукурудзи. Інтенсивні гібриди володіють позитивною реакцією на підвищений азотний фонд живлення. Пластичні генотипи кукурудзи формують задовільну продуктивність на низьких фонах азоту та на ґрунтах із низькою родючістю [3].

Для побудови правильної системи азотного живлення кукурудзи важливо розуміти динаміку споживання азоту рослинами. На початкових фазах росту засвоєння азоту незначне – 3–5 % (2 кг/га за добу з 1 га). Після цього інтенсивність надходження зростає і досягає максимуму у фазі викидання волоті. Приблизно 85 % від загальної кількості азоту кукурудзою поглинається від фази 8 листків до фази всихання квіткових стовпчиків на початках [2; 8; 15].

За умови вдосконалення системи удобрення кукурудзи азотом можна досягнути максимальної ефективності використання азоту з добрив, а також мінімізувати навантаження на довкілля [17; 21]. Реутилізація азоту – ключовий фактор підвищення ефективності використання азоту [8]. Ефективність використання азоту залежить від здатності рослин поглинати азот з ґрунту, засвоюючи нітрати амоній та перетворений мікробіотою органічний азот.

Для кукурудзи критичний період потреби в азоті настає у фазі цвітіння [9]. Норму внесення мінерального азоту розраховують на запланований урожай і орієнтовно для родючих ґрунтів він становить N_{15} , а для бідних – N_{20} на 1 т зерна.

Дослідження попередніх років свідчать [4], що для застарілих тепер гібридів кукурудзи на формування 1 тонни зерна потрібно вносити азотні добрива з розрахунку 15–18 кг/га д.р. на родючих ґрунтах та 12–15 кг/га – на бідних. Для кращого засвоєння кожних 10 кг азоту має бути збалансованим 1 кг сірки. Найбільш ефективною формою азоту є амонійна (NH_4) або амонійно-нітратна (NH_4NO_3). Для пролонгованої дії краще використовувати амідну форму (NH_2). Нітратна форма (NO_3) наймобільніша для забезпечення рослин азотом, проте її використання обмежене через швидке вилугування нітратів під впливом опадів за напівпромивного й особливо промивного режиму ґрунту в зоні достатнього зволоження [18].

Загальна кількість поживних речовин, яку засвоюють сучасні гібриди кукурудзи для формування 23,0 т/га загальної біомаси, зокрема 12 т/га зерна, становить 286 кг N, 114 кг P_2O_5 , 202 кг K_2O , 59 кг Mg, 26 кг S, 1,4 кг Fe, 0,5 кг Mn, 0,5 кг Zn, 0,1 кг Cu і 0,08 кг B [8]. Пік використання елементів живлення припадає на фазу V10–V14 (10–14 повністю розвинених листків). Зокрема для утворення 439 кг/га сухої речовини за добу з одного гектара рослини поглинають N 8,9 кг, P_2O_5 2,4 кг, K_2O 5,8 кг, Mg 2,2 кг, S 0,7 кг, Zn 14,2 г, Mn 18,0 г, B 3,3 г, Fe 95,3 г і Cu 3,0 г [1]. Максимальне поглинання P, S, Zn і Cu переважно проходить після цвітіння.

За недостатнього азотного живлення затримуються ріст і розвиток рослин, унаслідок чого знижується їхня продуктивність. Брак азоту насамперед впливає на зміну забарвлення листків. Спочатку знебарвлюються нижні листки: колір змінюється від інтенсивно-зеленого до світло-зеленого, починаючи від верхівки до країв. Поступово листя жовкне, набуває оранжевого і червонуватого відтінків. На молодих рослинах ознаки азотного голодування легко розпізнати, на відміну від пізніх фаз розвитку рослин, оскільки на забезпеченість їх азотом впливають хвороби, агрометеорологічні умови та інші фактори, які ускладнюють візуальну діагностику [5].

Як зазначали А. В. Опкен та інші [18], на ефективність використання азоту з добрив істотно впливають норма внесення, вміст $N+NO_3$ у ґрунті й урожайність зерна кукурудзи. Даних вмісту азоту з глибини ґрунту 0–15 см достатньо для отримання високої кореляційної залежності між залишковою кількістю $N+NO_3$ та урожайністю кукурудзи. Для підвищення коефіцієнта використання азоту з добрив рівень внесення азоту має забезпечувати заплановану урожайність з найменшою залишковою кількістю у ґрунті, для запобігання його непродуктивних втрат.

Форма добрив також має істотний вплив на ефективність засвоєння азоту. Вихід зерна кукурудзи на одиницю внесеного азоту був найвищий для карбамідо-аміачної суміші, аміачної селітри порівняно з карбамідом [14]. А згідно з рекомендаціями [2] найвищу ефективність спостерігали за внесенням карбаміду під передпосівну культивування. Адже аміачна форма не вимивається з ґрунту, а після трансформації стає доступною для рослин кукурудзи. Амідна форма азоту має пролонговану дію і використовується у пізніші фази росту.

Результати вивчення впливу термінів застосування азотних добрив під кукурудзу показують, що немає однозначної відповіді стосовно переваги певного терміну внесення. Зокрема в Айові та Вісконсині (США) передпосівне застосування на більшості ділянок було рівним або кращим, ніж роздільне внесення [10]. А у штаті Міннесота (США) урожайність кукурудзи за роздільного застосування була вищою порівняно з передпосівним внесенням.

За достатньої кількості опадів роздільне застосування (передпосівне+післяпосівне) було ефективнішим, на відміну від менш зволоженого року [19]. Дослідженнями встановлено, що внесення N_{60} під передпосівну культивування сприяє

зростанню урожайності на 70 %, N_{90} – 88 %, а за внесення N_{120} урожайність зерна зростає удвічі.

У стратегії споживання азоту кукурудзою згідно з науковими дослідженнями є два шляхи забезпечення зернівки азотом: постійне поглинання його ґрунтом та переміщення з вегетаційних органів. На момент цвітіння кукурудза споживає $\frac{2}{3}$ загальної потреби, а решта засвоюється під час наливу зерна [1]. Реутилізація (ремобілізація) азоту має важливе значення для формування врожайності та якості кукурудзи. До 50–90 % азоту в зерні становить азот, який надходить з вегетативних органів рослин [11]. Найінтенсивніше реутилізація азоту в кукурудзі проходить при дозріванні зерна.

Реутилізація залежить від умов довкілля і доступності нітратів у ґрунті. Дослідження показують [6; 12], що вміст азоту в насінні корелює зі старінням прапорцевого листка у зернових культурах, а старіння листя істотно впливає на врожайність зерна. Подовження фотосинтезу рослиною сприяє збільшенню надходження вуглеводів. Проте відтермінування старіння може призвести до зниження ефективності реутилізації азоту і зниження вмісту білка в зерні [16].

Сучасні гібриди поглинають після цвітіння більше азоту порівняно з раніше поширеними гібридами. Згідно з даними J. W. Haegele та ін. [13] нові гібриди після цвітіння споживають на 38 % більше азоту порівняно з гібридами 70-х років ХХ століття. Кількість поглиненого азоту кукурудзою після цвітіння частково залежала від норми його внесення. У разі застосування N_{67} споживалось 20 % від загальної кількості використаного азоту, N_{252} – 29 %, а якщо азотних добрив не вносили – 33 %. На формування насіння кукурудзи 62 % використовують азоту з ґрунту, а 38 % – це реутилізований азот.

Постановка завдання. Наше завдання – з'ясування доцільності збільшення норми азотного удобрення зернової кукурудзи на дерново-карбонатному ґрунті для реалізації генетичного потенціалу гібрида компанії *Pioneer P9071 (Maxim XL)* з ФАО 280. Вплив азоту на продуктивність кукурудзи досліджували у Радивилівському агроґрунтовому районі ґрунтово-біокліматичної області Малого Полісся. Ґрунт – дерново-карбонатний піщанисто-легкосуглинковий на елювії мергелів. Географічні координати розміщення дослідної ділянки: 49°95'31" пн.ш. 24°84'83" сх.д. Повторність варіантів п'ятиразова. Розміщення варіантів рендомізоване. Площа облікової ділянки становила 15 м², посівна – 35 м².

У шарі ґрунту 0–20 см вміст гумусу за Тюріним становить 4,46 %, гідролітична кислотність 0,53 ммоль-екв. на 100 г ґрунту, рН_{KCl} – 6,62, вміст рухомого фосфору й обмінного калію підвищений – 116 і 163 мг/кг відповідно, легкогідролізованого азоту низький (103 мг/кг ґрунту), кальцію і магнію: відповідно 13,8 і 1,72 ммоль-екв. на 100 г ґрунту. Якісні показники зерна визначали на приладі Спектран-119М.

Агротехніка вирощування кукурудзи традиційна, із застосуванням полицевого обробітку. Норма висіву гібрида – 78 тис/га. Попередник – пшениця озима. Азотні добрива вносили під передпосівну культивуацію (карбамід) та у підживлення (аміачна селітра) у фазі 6–7 листків кукурудзи відповідно до схеми дослідження. При посіві вносили P₄₀K₄₀.

Математично-статистичну обробку отриманих результатів досліджень та врожайних даних здійснювали з використанням програм *Microsoft*

Excel і *Statistica* 12.0. Дані в таблицях та графіку представлені як середнє арифметичне із стандартним відхиленням ($\bar{x} \pm SD$).

Виклад основного матеріалу. Традиційні біометричні показники врожаю кукурудзи свідчать, що збільшення норми азотного удобрення до N₁₂₅ і вище сприяє росту й розвитку кукурудзяного початку до довжини 18,5 см (рис. 1). Маса зерна в одному початку продовжувала збільшуватися за підвищення дози азоту в передпосівну культивуацію від N₉₀ до N₁₂₅ від 188,8 до 193,0 г, що на 30,3 г більше, ніж без внесення добрив (табл. 1).

Максимальна норма внесення азоту також сприяла формуванню найвищої маси 1000 зерен – 399,4 г, що на 84 г більше від неудобреного контролю. Проте на збільшення частки зерна у масі початка азотні добрива істотно не впливали – вона змінювалась в інтервалі 85,6–87,3 %.



Рис. 1. Вплив азотних добрив на морфологічні параметри початку кукурудзи (1, 2, 3, 4 – варіанти досліду).

Таблиця 1

Варіювання біометричних показників кукурудзи залежно від норми азоту ($\bar{x} \pm SD$, $n = 100$)

№	Норма внесення азоту	Період внесення	Довжина початка, см	Маса зерна з 1 початка, г	Маса тисячі зерен (M ₁₀₀₀), г	Вихід зерна, %
1	N ₀	без внесення азоту	16,9±0,51	163,3±7,79	315,4±26,78	87,3±0,32
2	N ₃₅	ВВСН 16-17	17,9±0,19	172,3±4,92	350,2±9,30	85,6±0,66
3	N ₉₀	передпосівна культивуація	18,3±0,21	183,1±6,33	387,0±6,78	86,3±0,31
4	N ₁₂₅ (N ₉₀ +N ₃₅)	передпосівна культивуація +ВВСН 16-17	18,5±0,25	188,8±4,01	395,1±6,56	86,3±0,34
5	N ₁₅₀ (N ₁₂₅ +N ₃₅)	передпосівна культивуація +ВВСН 16-17	18,5±0,27	193,0±3,00	399,4±5,45	86,3±0,29

Таблиця 2

Вплив норми азотних добрив на врожайність зерна кукурудзи

№	Норма внесення азоту	Період внесення	Урожайність, т/га ($\bar{x} \pm SD$; $n = 9$)	Приріст урожаю, %
1	N_0	без внесення азоту	10,75±0,297 ^d	–
2	N_{35}	ВВСН 16-17	11,48±0,146 ^c	6,8
3	N_{90}	передпосівна культивация	12,46±0,269 ^b	15,9
4	N_{125} ($N_{90} + N_{35}$)	передпосівна культивация +ВВСН 16-17	12,99±0,257 ^a	20,8
5	N_{150} ($N_{125} + N_{35}$)	передпосівна культивация +ВВСН 16-17	13,28±0,097 ^a	23,5

Примітка: значення, позначені однією літерою в одному рядку таблиці, суттєво не відрізняються один від одного за результатами порівняння за допомогою *Tukey test* ($P < 0,05$).

Таблиця 3

Якісні показники зерна кукурудзи залежно від рівня азотного живлення ($\bar{x} \pm SD$)

№	Норма внесення азоту	Період внесення	Протеїни, на абс. суху масу, %	Жири, на абс. суху масу, %
1	N_0	без внесення азоту	12,03±0,28	4,00±0,34
2	N_{35}	ВВСН 16-17	11,00±0,67	3,90±0,19
3	N_{90}	передпосівна культивация	11,15±0,57	3,92±0,43
4	N_{125} ($N_{90} + N_{35}$)	передпосівна культивация +ВВСН 16-17	11,18±0,62	3,92±0,47
5	N_{150} ($N_{125} + N_{35}$)	передпосівна культивация +ВВСН 16-17	11,18±0,55	3,95±0,36

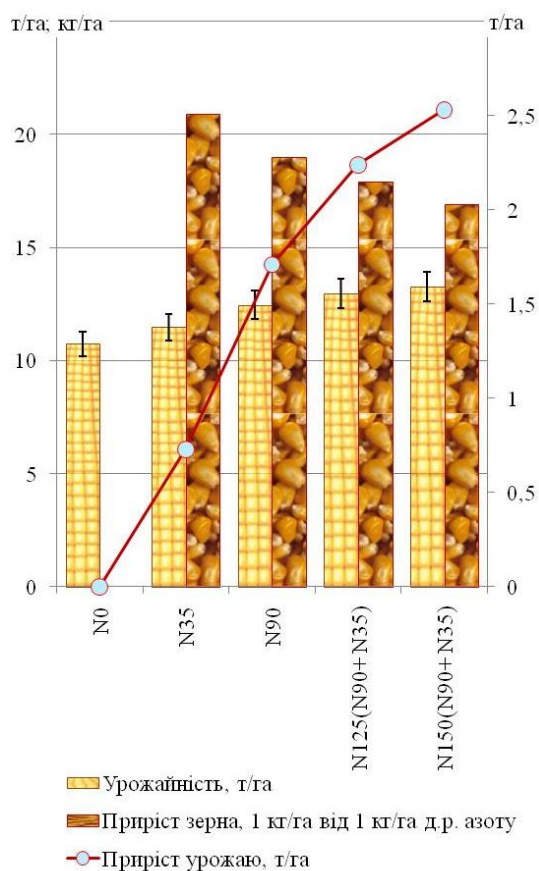


Рис. 2. Приріст урожаю зерна на одиницю внесеного азоту, кг

Дисперсійний аналіз показників урожаю кукурудзи показав, що збільшення норми азотного удобрення до рівня N_{125} та N_{150} достовірно підвищувало збір зерна, оскільки найменша істотна різниця виявлена між усіма варіантами внесення азоту, за винятком найбільших норм. Між нормами N_{125} та N_{150} різниця виявилася не істотною, але тенденція до росту зберігалася.

Внесення високих норм азоту забезпечувало збільшення збору зерна на 20,8–23,5 % порівняно з неудобреним фоном.

Ефективність азотних добрив добре ілюструють питомі витрати туків на одиницю урожаю зерна. Так, за систематичного збільшення загального збору зерна і стрімкого приросту урожаю, вихід зерна від кожного наступного шабля збільшення норми азоту поступово зменшується (рис. 2). Це означає, що віддача додаткових добрив знижується.

Критерієм ефективного застосування добрив є отримання якісного урожаю. Висока природна родючість ґрунту та сприятливі агрометеорологічні умови у варіанті без удобрення сприяли формуванню зерна найвищих кормових якостей за показниками вмісту протеїнів та жирів (табл. 3). Високі норми азоту забезпечували найбільше наближення цих показників до контрольних.

Розрахунок збору найцінніших поживних компонентів у зерні показав, що найвищі норми

азоту – N₁₂₅ та N₁₅₀ – сприяли отриманню найбільших зборів протеїнів та жирів, але мало відрізнялися у своїй позитивній дії (рис. 3). З

одного гектара було зібрано 0,44 т жирів та 1,26–1,29 т протеїнів, за вмістом яких саме таке зерно вважається найякіснішим.

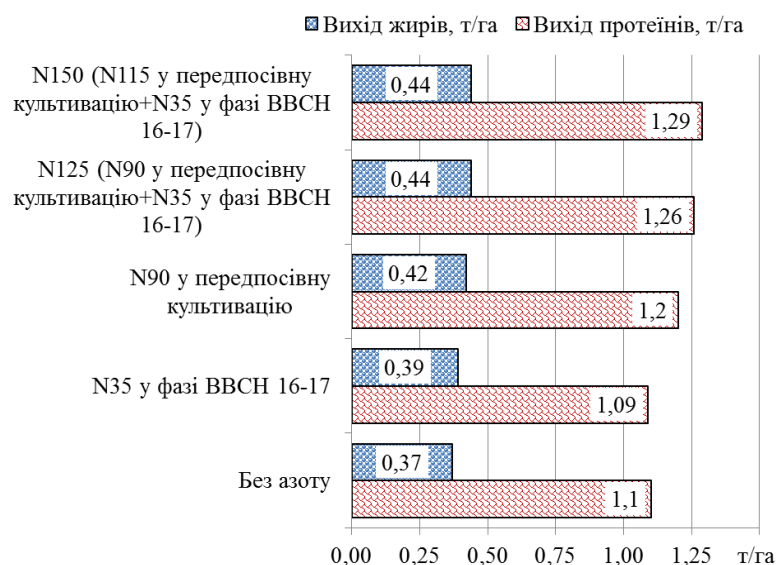


Рис. 3. Вплив норм внесення азоту на збір поживних кормових компонентів у зерні кукурудзи, т/га

Висновки. Збільшення норм внесення азотних добрив під зернову кукурудзу від N₉₀ до N₁₂₅₋₁₅₀ поліпшує біометричні властивості основного врожаю за такими показниками, як маса зерна у початку та маса 1000 зерен.

Урожайність зерна кукурудзи формується максимальною за внесення норми N₁₅₀, проте вона не істотно відрізняється від дії норми N₁₂₅ і становить 12,99–13,28 т/га, що на 20,8–23,5 % більше, ніж на контролі без азоту. Віддача кожного додаткового кілограма азоту зерном кукурудзи поступово зменшується.

Максимальні норми азоту не поліпшують показники вмісту жирів та протеїнів у зерні, проте завдяки підвищенню його збору зумовлюють вагоме збільшення виходу поживних кормових речовин до найбільшого рівня – 0,44 т/га жирів та 1,26–1,29 т/га протеїнів.

За результатами вивчення впливу норм азотних добрив на продуктивність зернової кукурудзи рекомендуємо вносити N₁₂₅ з поділом норми на дві дози: N₉₀ під передпосівну культивувацію та N₃₅ у фазі ВВСН 16-17.

Бібліографічний список

1. Андрущенко В., Дебруїн Д., Бутзен С. Споживання азоту кукурудзою. *Агроном*. 2019. № 1. С. 132–138. URL: <https://www.agronom.com.ua/spozhy-vannya-azotu-kukurudzoju> (дата звернення: 22.04.2022).

2. Лихочвор В. В., Петриченко В. Ф. Фізіологічна роль елементів живлення та системи удобрення польових культур: 3-тє вид., переробл. Львів: Українські технології, 2021. 284 с.

3. Логінова І. Секрети кукурудзяного успіху. *Агроіндустрія*. 2019. № 7. С. 22–32. URL: <https://infoindustria.com.ua/sekreti-kukurudzyanogo-usipihu/> (дата звернення: 22.04.2022).

4. Циков В. С., Матюха Л. А. Интенсивная технология возделывания кукурузы. Москва: Агропромиздат, 1989. 247 с.

5. Adotey N., McClure A., Raper T. Visual Symptoms: A Handy Tool in Identifying Nutrient Deficiency in Row Crops. 27 JUL 2020. URL: <https://news.utcrops.com/2020/07/visual-symptoms-a-handy-tool-in-identifying-nutrient-deficiency-in-row-crops> (Accessed 22 April 2022).

6. Banziger M., Betran F. J., Lafitte H. R. Efficiency of high nitrogen environment for improving maize for low nitrogen environment. *Crop Sci*. 1997. Vol. 37. P. 1103–1109.

7. Below F. The Seven Wonders of the Corn Yield World. 2018. URL: http://cropphysiology.cropsci.illinois.edu/research/seven_wonders.html (Accessed 22 April 2022).

8. Bender R. R., Haegerle J. W., Ruffo M. L., Below F. E. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern, transgenic insect-protected maize hybrids. *Agron J*. 2013. 105. P. 161–170.

9. Biswas D. K., Ma B. L. Effect of nitrogen rate and fertilizer nitrogen source on physiology, yield, grain quality, and nitrogen use efficiency in corn. *Can J Plant Sci*. 2016. Vol. 403. P. 392–403.

10. Bundy L. G. Side dressing nitrogen: useful on all soils? Proc. of the 2006 Wisconsin Fertilizer, Agrilime&Pest Management Conference. 2006. Vol. 45. P. 39–43. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.612.501&rep=rep1&type=pdf> (Accessed 22 April 2022).
11. Coque M., Gallais A. Genetic Variation for Nitrogen Remobilization and Postsilking Nitrogen Uptake in Maize Recombinant Inbred Lines: Heritabilities and Correlations among Traits. *CropScience*. 2007. Vol. 47. P. 1787–1796.
12. Gallais A., Coque M., Quillere I., Prioul J. L., Hirel B. Modelling postsilking nitrogen fluxes in maize (*Zea mays*) using N-15-labelling field experiments. *New Phytol.* 2006. Vol. 172. P. 696–707.
13. Haegele J. W., Cook K. A., Nichols D. M., Below F. E. Changes in nitrogen use traits associated with genetic improvement for grain yield of maize hybrids released in different decades. *Crop Sci.* 2013. Vol. 53. P. 1256–1268.
14. Halvorson A. D., Grosso S.J.D., Alluvione F. Nitrogen Source Effects on Nitrous Oxide Emissions from Irrigated No-Till Corn. *Journal of Environmental Quality*. 2010. Vol. 39. P. 1554–1562.
15. Marchezan C., Paulo A., Ferreira A., Leandro S., et. al. Nitrogen Availability and Physiological Response of Corn After 12 Years with Organic and Mineral Fertilization. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2020. Vol. 20 (3). P. 979–989.
16. Masclaux-Daubresse C., Daniel-Vedele F., Dec-horgnat J., Chardon F., Gaufichon L., Suzuki A. Nitrogen uptake, assimilation and remobilization in plants: challenges for sustainable and productive agriculture. *Ann Bot.* 2010 Jun/ Vol. 105 (7). P. 1141–1157.
17. Omonode R. A., Halvorson A. D., Gagnon B., Vyn T. J. Achieving Lower Nitrogen Balance and Higher Nitrogen Recovery Efficiency Reduces Nitrous Oxide Emissions in North America's Maize Cropping Systems. *Front Plant Sci.* 2017. Vol. 8. P. 1080.
18. Onken A. B., Matheson R. L., Nesmith D. M. Fertilizer nitrogen and residual nitrate-nitrogen effects on irrigated corn yield. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1985. Vol. 49. P. 134–139.
19. Randall G., Schmitt M. Strategies for split N applications in 2004. *Proceedings Wisconsin Fertilizer, Agrilime and Pest Management Conference*. 2004. Vol. 43. P. 60–67. URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.561.4211&rep=rep1&type=pdf> (Accessed 22 April 2022).
20. Records Broken in 2019 NCGA Corn Yield Contest. 2019. URL: <https://www.ncga.com/stay-informed/media/in-the-news/article/2019/12/records-broken-in-2019-ncga-corn-yield-contest> (Accessed 22 April 2022).
21. Stasiv O., Olifir Y. Formation of Corn Productivity in Crop Rotation Depending on Long-Term Fertilization and Liming. *Folia Pomer. Univ. Technol. Stetin., Agric., Aliment., Pisc., Zootech.* 2021. Vol. 358 (57) 1. P. 29–40.

Стаття надійшла 25.04.2022