УДК 633.15

**УРОЖАЙНІСТЬ І ЯКІСТЬ ЗЕРНА КУКУРУДЗИ ЗА РІЗНОГО УДОБРЕННЯ
В ПОЛЬОВІЙ СІВОЗМІНІ****Г. Господаренко, д. с.-г. н.**

ORCID ID: 0000-0002-6495-2647

І. Прокопчук, к. с.-г. н.

ORCID ID: 0000-0001-9608-6061

В. Бойко

ORCID ID: 0000-0002-8139-2039

Уманський національний університет садівництва<https://doi.org/10.31734/agronomy2021.01.141>**Господаренко Г., Прокопчук І., Бойко В. Урожайність і якість зерна кукурудзи за різного удобрення в польовій сівозміні**

Досліджували вплив тривалого застосування різних доз і співвідношень мінеральних добрив у чотиріпільній польовій сівозміні на врожайність і якість зерна кукурудзи. Дослідження виконано у стаціонарному польовому досліді на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому у Правобережному Лісостепу України. У статті представлено середні дані щодо врожайності та якості зерна кукурудзи за результатами визначень упродовж 2016–2018 рр., на час другої ротації сівозміни. Схема досліді охоплює одинадцять варіантів комбінацій та окремого внесення мінеральних добрив, у тому числі контрольний варіант без удобрення. У варіанті досліді, де середня доза елементів живлення у сівозміні на гектар становить $N_{110}P_{60}K_{80}$, заплановано повне (100 %) компенсування добривами господарського винесення культурами основних елементів живлення. З'ясовано, що систематичне застосування добрив у сівозміні сприяє підвищенню врожайності кукурудзи на 18–77 %. Найвищі показники врожайності (13,07 т/га) забезпечує внесення на 1 га площі сівозміни $N_{110}P_{60}K_{80}$, у тому числі під кукурудзу – $N_{160}P_{60}K_{110}$. Вилучення з повного удобрення ($N_{160}P_{60}K_{110}$) азотної складової знижує врожай кукурудзи на 47 %, фосфорної – на 25 %, а калійної – на 19 %. Зменшення у складі повного мінерального добрива дози фосфорних добрив зі 60 до 30 кг д. р./га і калійних з 80 до 40 кг д. р./га знижувало врожайність кукурудзи відповідно на 11 і 6 %. За одночасного зменшення доз фосфорних і калійних добрив урожайність зерна знижувалась на 13 %.

За узагальненим показником якості зерна кращим є внесення під кукурудзу повного мінерального добрива в дозі $N_{160}P_{30-60}K_{55-110}$. Найбільша натура зерна кукурудзи формується за доз добрив $N_{60}K_{60}$, $N_{160}P_{60}K_{110}$ і $N_{160}P_{60}K_{110}$, а вміст у ньому протеїну (10,3 %) і жиру (4,2 %) – за внесення повного мінерального добрива в дозі $N_{160}P_{60}K_{110}$.

Ключові слова: кукурудза, удобрення, чорнозем опідзолений, урожайність, натура зерна, протеїн, жир.

Hospodarenko H., Prokopchuk I., Boiko V. Yield and quality of maize grain under applying different fertilizers in the field crop rotation

The effect of prolonged use of different doses and ratios of mineral fertilizers in a 4-field crop rotation on the yield and quality of maize was investigated in the research. The study was performed in a stationary field experiment on podzolized heavy-loam black land soils in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. The article presents the average yield and quality of maize according to the results of determinations during 2016–2018, at the time of this crop rotation. The experiment scheme included eleven variants of combinations and separate application of mineral fertilizers, including the test variant without fertilizers. In the experiment, where the average dose of nutrients in crop rotation was $N_{110}P_{60}K_{80}$ per hectare, it was planned to make total (100 %) compensation of fertilizers for economic absorbing by crops of the essential nutrients. It has been found that the systematic application of fertilizers in crop rotation increases the maize yield by 18–77 %. The highest yields (13.07 t/ha) were provided by applying $N_{110}P_{60}K_{80}$ on 1 ha of crop rotation area, including on maize – $N_{160}P_{60}K_{110}$. Exclusion of the nitrogen component from the complete fertilizer ($N_{160}P_{60}K_{110}$) reduced maize yield by 47%, whereas phosphorous – by 25 %, and potassium by 19%. The reduction of phosphorus fertilizers dose from 60 to 30 kg p.n./ha and potassium ones from 80 to 40 kg p.n./ha in the composition of complete mineral fertilizer reduced the maize yield by 11 and 6 %, respectively. While reducing the doses of phosphorus and potassium fertilizers, grain yield decreased by 13 %.

According to the generalized index of grain quality, it is preferable to apply maize with complete mineral fertilizer at a dose of $N_{160}P_{30-60}K_{55-110}$. The largest grain unit of maize was formed by the doses of $N_{60}K_{60}$, $N_{160}P_{60}K_{110}$ and $N_{160}P_{60}K_{110}$ fertilizers, and its content of protein (10.3 %) and fat (4.2 %) – under applying complete mineral fertilizer at the dose of $N_{160}P_{60}K_{110}$.

Key words: maize, fertilizer, podzolized black land soil, yield, grain-unit, protein, fat.

Постановка проблеми. З метою уточнення теоретичних положень стосовно оптимізації системи удобрення окремих сільськогосподарських культур у сівозміні та розроблення практичних рекомендацій щодо застосування добрив з урахуванням ґрунтово-кліматичних умов необхідно встановити, який елемент або елементи живлення та в якому поєднанні зумовлюють їхню ефективність [1; 3]. Тому питання підвищення продуктивності кукурудзи, яку вирощують у польовій сівозміні, залишається актуальним, особливо за умов недостатнього застосування добрив в оптимальному поєднанні елементів живлення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Реалізувати потенційну продуктивність сільськогосподарських культур слід не за допомогою високих доз добрив, а оптимізацією всіх властивостей і життєвих процесів у ґрунті, що забезпечують відновлення його родючості, створення поживного, водного, повітряного режимів відповідно до біологічних вимог рослин [6; 16]. Дози різних видів мінеральних добрив повинні відповідати збалансованому живленню рослин з урахуванням екологічних наслідків їхнього застосування. Оптимізація доз добрив у сівозмінах вимагає вдосконалення методів ґрунтової і комплексної діагностики потреби культур в окремих елементах [15]. Усі ці питання неможливо вирішити без розширення та поглиблення досліджень у стаціонарних агрохімічних польових дослідках.

У поширених нині короткоротаційних польових сівозмінах зі значним насиченням зерновими культурами вплив систем удобрення на продуктивність кукурудзи у Правобережного Лісостепу вивчено недостатньо.

Постановка завдання. Метою наших досліджень було встановити особливості формування врожаю та основних показників якості зерна кукурудзи, яку вирощували у сівозміні на чорноземі опідзоленому з різним насиченням доз і поєднань видів мінеральних добрив в умовах стаціонарного польового дослідку у Правобережному Лісостепу України.

Дослідження проведено в умовах стаціонарного польового дослідку Уманського національного університету садівництва (атестат НААН

№ 87) [14], розміщеного у Правобережному Лісостепу України з географічними координатами за Гринвічем $48^{\circ} 46'$ північної широти і $30^{\circ} 14'$ східної довготи. Дослід закладено 2011 року. У чотирипільній польовій сівозміні вирощуються такі культури: пшениця озима; кукурудза; ячмінь ярий; соя. Метою польового дослідку є встановлення ефективності дії різних видів, доз і поєднань мінеральних добрив на врожайність і якість зерна та насіння польових культур, родючість чорнозему опідзоленого. Схема дослідку охоплює 11 варіантів комбінацій і окремого внесення мінеральних добрив, зокрема контрольний варіант без удобрення (табл. 1).

Дослід одночасно розгорнутий на чотирьох полях, що дає змогу щорічно отримувати дані врожайності всіх культур чотирипільної польової сівозміні і виявляти вплив агрометеорологічних чинників на їхню продуктивність та ефективність добрив. Висівали гібрид кукурудзи НК Термо. Технологія вирощування традиційна для регіону. Повторність дослідку триразова, розміщення варіантів послідовне. Загальна площа дослідної ділянки – 110 м^2 , облікова – 72 м^2 . Фосфорні (суперфосфат гранульований) і калійні добрива (калій хлористий) вносили під зяблевий обробіток ґрунту, азотні (аміачна селітра) – під передпосівну культивування та в підживлення пшениці озимої. Нетоварну частину врожаю культур сівозміні (солому, стебелиння) залишали на полі на добриво.

У варіанті дослідку, де середня доза елементів живлення у сівозміні на гектар становить $N_{110}P_{60}K_{80}$, заплановано повне (100 %) компенсування добривами середньорічного господарського винесення культурами основних елементів живлення. Схему дослідку складено так, щоб за результатами проведених досліджень можна було визначити можливість зниження доз окремих видів мінеральних добрив.

Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем опідзолений важкосуглинковий на лесі з вмістом гумусу 3,8 %, $\text{pH}_{\text{KCl}} - 5,7$, вміст азоту легкогідролізованих сполук (за методом Корнфільда) низький (105 мг/кг), рухомих сполук фосфору та калію (за методом Чирикова, екстракція $0,5 \text{ м}$ CH_3COOH) – відповідно підвищений (106 мг/кг) і високий (132 мг/кг) (за національними критеріями [12]).

Збирали врожай кукурудзи методом пробного снопа. У зерні визначали натуру за ДСТУ 4233:2003, вміст протеїну за ДСТУ 4117:2007 і жиру – згідно з ГОСТ 10857 – 64.

Статистичний аналіз експериментальних даних виконано з використанням програми Statistica 10. Для оцінювання тісноти зв'язку між досліджуваними чинниками використовували градації коефіцієнта кореляції за шкалою R. E. Chaddock [9]: 0,1–0,3 – зв'язок незначний; 0,3–0,5 – помірний; 0,5–0,7 – істотний; 0,7–0,9 – високий; 0,9–0,99 – дуже високий; 1 – функціональний. Коефіцієнт стабільності досліджуваних показників розраховували за такою формулою: $K_{\text{стаб}} = \frac{V_{\text{сер}}}{(\max - \min)}$, де: $V_{\text{сер}}$ – показник середньої величини; $\max - \min$ – різниця між максимальним і мінімальним значеннями показника в досліді. Узагальнений показник якості зерна кукурудзи розраховували за методом Ацці [2].

Виклад основного матеріалу. Продуктивність сільськогосподарських культур є найбільш мінливим й інтегральним показником їхньої життєдіяльності, в якому акумулюються генетичний потенціал, родючість ґрунту, погодні умови і складові технології вирощування. Кукурудза, навіть за вирощування на чорноземних ґрунтах,

досить вимоглива до умов мінерального живлення та удобрення [3–5]. Результати досліджень показали, що врожайність кукурудзи змінювалась від 3,87 до 15,14 т/га залежно від погодних умов вегетаційного періоду та особливостей застосування добрив у польовій сівозміні (див. табл. 1). При цьому слід зазначити, що систематичне застосування мінеральних добрив у сівозміні в оптимальних дозах і поєднаннях сприяє її стабілізації, що можна передусім пояснити економним використанням ґрунтових запасів вологи. Порівняно з ділянками без добрив, застосування їх підвищувало врожайність кукурудзи на 2,20–8,34 т/га, або на 47–176 %, залежно від варіанта досліді. При цьому найбільші прирости врожаю були отримані за внесення повного мінерального добрива, а з їхніх видів найбільше культура реагувала на азотні добрива. У 2016 році вегетація кукурудзи тривала в досить контрастних погодних умовах. Так, з травня до другої декади червня випала надмірна кількість опадів, що призвело до формування в рослин великої вегетативної маси. З третьої декади червня встановилась жарка й суха погода, проте завдяки достатнім запасам вологи у ґрунті суттєвого негативного впливу на врожай кукурудзи вона не мала. Добрива позитивно впливали на формування врожайності зерна.

Таблиця 1

Вплив різних систем удобрення на врожайність кукурудзи

Варіант досліді – вноситься добрив		Урожайність, т/га				Зміна врожайності, ± т/га	
на 1 га площі сівозміни	під кукурудзу	2016 р.	2017 р.	2018 р.	середня за три роки	1*	2
Без добрив (контроль)	Без добрив (контроль)	4,79	3,87	5,53	4,73	–	–8,34
N ₅₅	N ₈₀	7,70	6,25	8,02	7,32	2,59	–5,75
N ₁₁₀	N ₁₆₀	9,43	7,62	9,96	9,00	4,27	–4,07
P ₆₀ K ₈₀	P ₆₀ K ₁₁₀	6,94	5,69	8,17	6,93	2,20	–6,14
N ₁₁₀ K ₈₀	N ₁₆₀ K ₁₁₀	9,94	8,04	11,55	9,84	5,11	–3,23
N ₁₁₀ P ₆₀	N ₁₆₀ P ₆₀	10,69	8,71	12,54	10,60	5,87	–2,47
N ₅₅ P ₃₀ K ₄₀	N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	10,09	8,23	11,68	10,00	5,27	–3,07
N ₁₁₀ P ₆₀ K ₈₀	N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	13,33	10,74	15,14	13,07	8,34	–
N ₁₁₀ P ₃₀ K ₄₀	N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	11,58	9,32	13,18	11,36	6,34	–1,71
N ₁₁₀ P ₆₀ K ₄₀	N ₁₆₀ P ₆₀ K ₅₅	12,39	10,04	14,35	12,26	7,53	–0,81
N ₁₁₀ P ₃₀ K ₈₀	N ₁₆₀ P ₃₀ K ₁₁₀	11,85	9,56	13,57	11,66	6,93	–1,41
НІР ₀₅		0,53	0,46	0,64			

Примітка. 1* – порівняно з абсолютним контролем; 2 – порівняно з виробничим контролем (N₁₁₀P₆₀K₈₀).

У 2017 році сформувалися складні погодні умови. Зі січня і до кінця вегетації кількість опадів (за винятком квітня) була нижчою за середній багаторічний показник. Нестійкі умови зволоження були і у 2018 році. Це негативно вплинуло на формування врожаю кукурудзи.

Внесення в сівозміні лише азотних добрив із розрахунку 80–160 кг д. р./га підвищувало врожайність кукурудзи на 2,59–4,27 т/га, або на 55–90 %, а на фоні $P_{60}K_{110}$ – лише на 2,20 т/га, або на 47 %. На азотно-калійному фоні ($N_{160}K_{110}$) фосфорні добрива за середньорічного внесення в дозі 60 кг д. р./га підвищували урожайність зерна в середньому за три роки досліджень на 3,23 т/га, або на 34 %, а калійні – у дозі 80 кг д. р./га на азотно-фосфорному фоні ($N_{160}P_{60}$) – на 2,47 т/га або на 23 %.

За зниження насиченості сівозміні мінеральними добривами удвічі з $N_{160}P_{60}K_{110}$ до $N_{80}P_{30}K_{55}$ у середньому за три роки досліджень урожайність кукурудзи була 10,00 т/га, або на 3,07 т/га меншою порівняно з контролем. Це вказує на значну реакцію цієї культури на родючість ґрунту та удобрення. За великих доз внесення мінеральних добрив у кінці другої ротації сівозміні врожайність кукурудзи була на 18 % вищою, ніж на ділянках без тривалого застосування добрив. Зменшення у складі повного мінерального добрива дози фосфорних добрив з 60 до 30 кг д. р./га і калійних з 80 до 40 кг д. р./га знижувало врожайність кукурудзи відповідно на 11 і 6 %. За одночасного зменшення доз фосфорних і калійних добрив урожайність зерна знижувалась на 13 %.

Отже, кукурудза добре реагує на родючість ґрунту та внесення мінеральних добрив. Рівень її урожайності залежно від насиченості сівозміні мінеральними добривами виражається таким рівнянням:

$$y = 0,0315x + 5,0036, R^2 = 0,84,$$

де x – сума $N + P_2O_5 + K_2O$ мінеральних добрив на 1 га площі сівозміні.

Вимоги до якості зерна кукурудзи залежать від напряму його використання [8]. Зазвичай основними її показниками є вміст протеїну, вуглеводів і жирів. Ці показники взаємопов'язані і визначають цінність зерна [10].

Проведений огляд літературних джерел [7] показує, що вміст протеїну в зерні залежно від умов вирощування може змінюватися в досить широких межах, досягаючи максимального значення (13,5–14 %) у роки з посушливою погодою. При цьому встановлено, що агротехнологічними заходами його вміст можна підвищити в 1,5 раза, а різниця між районованими гібридами становить лише 1–2 %. Так, в умовах Лівобережного Полісся вміст протеїну в зерні кукурудзи залежно від системи удобрення в сівозміні зростає на 0,4–1,4 % порівняно з контролем без добрив (8,0 %) [11]. Вміст білка в зерні насамперед можна підвищити завдяки поліпшенню азотного живлення рослин [7; 8], тоді як одностороннє посилення фосфорного і калійного живлення або не впливає, або знижує вміст [4].

Наші дані загалом підтвердили попередні дослідження вчених (табл. 2).

Таблиця 2

Якість зерна кукурудзи залежно від доз і співвідношень добрив у польовій сівозміні, 2016–2018 рр.

Варіант досліджу	Натура зерна, г/л	Вміст, %			Узагальнений показник якості, %
		протеїну	крохмалю	жиру	
Без добрив (контроль)	701	8,8	71,5	3,8	92,4
N_{80}	716	9,3	70,0	3,9	94,2
N_{160}	727	9,5	70,0	3,9	95,0
$P_{60}K_{110}$	714	9,1	71,2	3,8	93,4
$N_{160}K_{110}$	734	9,5	70,7	3,9	95,5
$N_{160}P_{60}$	742	9,8	70,6	4,0	97,0
$N_{80}P_{30}K_{55}$	722	9,5	69,8	4,0	95,3
$N_{160}P_{60}K_{110}$	750	10,3	70,6	4,2	99,7
$N_{160}P_{30}K_{55}$	748	10,1	70,9	4,1	98,6
$N_{160}P_{60}K_{55}$	723	10,2	70,7	4,2	98,6
$N_{160}P_{30}K_{110}$	739	10,2	70,6	4,2	99,1
$НІР_{05}$	21–32	0,4–0,5	24–29	0,2	

Найвищу натуру зерна кукурудза формувала у варіантах дослідів з внесенням високих доз повного мінерального добрива. За внесення лише азотних добрив (N_{80} , N_{160}) або сумісно фосфорних і калійних добрив, а також половинної дози повного мінерального добрива ($N_{80}P_{30}K_{55}$), спостерігали лише тенденцію до покращання натури зерна.

Вміст протеїну в зерні найбільше залежить від рівня азотного живлення рослин кукурудзи. На тлі внесення в сівозміні лише фосфорних і калійних добрив відзначено тенденцію до підвищення його вмісту. Найвищий вміст протеїну в зерні кукурудзи був у варіанті дослідів з внесенням $N_{160}P_{60}K_{110}$. При цьому слід зазначити, що внесення фосфорних і калійних добрив посилює вплив азотних добрив на його утворення. Між вмістом протеїну і крохмалю в зерні простежується обернена кореляційна залежність ($R^2 = 0,84$).

Вміст жиру в зерні кукурудзи частково підвищується (до 4,0–4,2 %) лише за внесення високих доз повного мінерального добрива, а також у варіанті дослідів $N_{160}P_{60}$ (за вмісту на контролі без добрив 3,8 %).

Отже, під впливом удобрення найбільше змінювались такі показники якості зерна, як вміст протеїну та жиру (коефіцієнт стабільності відповідно 6,4 і 10,0), а найменше – крохмалю (коефіцієнт стабільності 41,5). За узагальненим показником якості, розрахованим за системою величин Ацці, зерно найкращої якості формувалося у варіантах дослідів з внесенням під кукурудзу повного мінерального добрива в дозі $N_{160}P_{30-60}K_{55-110}$.

Висновки. Застосування різних доз і поєднань видів мінеральних добрив на чорноземі опідзоленому в польовій сівозміні Правобережного Лісостепу сприяє підвищенню врожайності кукурудзи на 18–77 %. Найвищі показники врожайності (13,07 т/га) забезпечує застосування мінеральних добрив у дозі $N_{110}P_{60}K_{80}$ на га площі сівозміни, у тому числі під кукурудзу – $N_{160}P_{60}K_{110}$. Вилучення з повного удобрення ($N_{160}P_{60}K_{110}$) азотної складової знижує врожай кукурудзи на 47 %, фосфорної – на 25, а калійної – на 19 %.

За узагальненим показником якості зерна кращим виявилось внесення під кукурудзу повного мінерального добрива в дозі $N_{160}P_{30-60}K_{55-110}$. Найбільша натура зерна кукурудзи формувалася за доз добрив $N_{60}K_{60}$, $N_{160}P_{60}K_{110}$ і

$N_{160}P_{60}K_{110}$, а вміст у ньому протеїну (10,3 %) і жиру (4,2 %) – за внесення повного мінерального добрива в дозі $N_{160}P_{60}K_{110}$.

Бібліографічний список

1. Адаптація агротехнологій до зміни клімату: ґрунтово-агрохімічні аспекти / за наук. ред. С. А. Балюка, В. В. Медведєва, Б. С. Носка. Харків: Стильна типографія, 2018. 364 с.
2. Ацци Дж. Сельскохозяйственная экология. Москва: Изд-во иностранной литературы, 1959.
3. Босак В. Н. Оптимизация питания растений: *Saarbrücken: Lambert Academic Publishing*, 2012. 203 с.
4. Гладких Є. Ю., Круподєра Ю. О., Панасенко Є. В. Роль окремих елементів у підвищенні стресостійкості рослин за екстремальних погодних умов. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2016. № 1–2(25). С. 55–63.
5. Довідник нормативних показників якості продукції сільськогосподарських культур у різних ґрунтово-кліматичних зонах України (довідково-нормативна інформація) / за ред. С. А. Балюка, М. В. Лісового. Харків: Смугаста типографія, 2016. 46 с.
6. Концепція досягнення нейтрального рівня деградації земель (ґрунтів) України / за наук. ред. А. Балюка, В. В. Медведєва, М. М. Мірошніченка. Харків: ФОП Бровін О. В., 2018. 32 с.
7. Крамарєв С. М. Удобрение кукурузы на черноземах обыкновенных Степной зоны Украины. Днепропетровск: Новая идеология, 2010. 632 с.
8. Медведєв Г. А., Еранов Д. В., Шадрин С. Д. Кормовая ценность гибридов кукурузы. *Кукуруза и сорго*. 2001. № 6. С. 2–3.
9. Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення: керівний нормативний документ / за ред. І. П. Яцука, С. А. Балюка. Київ, 2019. 108 с.
10. Надточаєв Н. Ф. Кукуруза на полях Беларуси. Минск: ИВЦ Минфина, 2008. 412 с.
11. Пархоменко М. М. Продуктивність короткочастотних сівозмін за різних систем удобрення в умовах Полісся. *Агрохімія і ґрунтознавство* (спецвипуск). 2018. Кн. 2. С. 203–204.
12. Синицький О. М., Батюк О. Я. Економетрія. Львів: Сполом, 2011. 210 с.
13. Система удобрення сільськогосподарських культур у землеробстві початку ХХІ століття / за ред. С. А. Балюка, М. М. Мірошніченка. Київ: Альфа-стевія, 2016. 400 с.
14. Стаціонарні польові дослідів України. Київ: Аграрна наука, 2014. 146 с.
15. Христенко А. А. Плодородие почв Украины и эффективность удобрений. *Агрохімія і ґрунтознавство (спецвипуск)*. 2018. Кн. 2. С. 234–235.
16. Hospodarenko H., Prokopchuk I., Prokopchuk S., Trus A. Humus content in a podzolized chernozem after a long-term application of fertilizers in a field crop rotation. *Agronomy Research*. 2018. Vol. 16, № 3. P. 737–748.

Стаття надійшла 08.02.2021