

**INFLUENCE OF BIOFERTILIZERS
AND SOIL CULTIVATION SYSTEMS
ON CORN GRAIN QUALITY AND THEIR CORRELATION**

**ВПЛИВ БІОДОБРІВ І СИСТЕМ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ
НА ЯКІСТЬ ЗЕРНА КУКУРУДЗИ ТА ЇХ КОРЕЛЯЦІЯ**

Oksana Datsko¹

Elina Zakharchenko²

DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-499-3-2>

Abstract. The purpose of the study is to evaluate the impact of soil tillage methods and biofertilizer application on maize yield and grain quality under organic farming conditions. **Methodology** of the research included a three-year field experiment (2020–2022) conducted on certified organic fields with two maize hybrids, Harmonium and Hemingway. The experiment assessed traditional tillage (plowing at 25–28 cm) and reduced tillage methods (disking and flat-cutting at various depths), combined with biofertilizer treatments, including seed inoculation and foliar applications at BBCH13 and BBCH17 growth stages using LEANUM and VITAMIN O7. **Results** demonstrated that traditional plowing with combined biofertilizer applications significantly enhanced protein, starch, and oil content, while shallow disking (5–8 cm) increased oil content but decreased overall yield. **Practical implications** of this study highlight the importance of integrating effective tillage methods and biofertilizer applications to optimize both quality and yield, providing valuable guidance for organic maize production. **Value/originality** of the research lies in its contribution to sustainable agricultural practices by offering a comprehensive evaluation of biofertilizer and tillage interactions to support environmentally friendly farming.

¹ Ph.D., Senior Lecturer of the Department of Agrotechnologies and Soil Science, Sumy National Agrarian University, Ukraine

² Candidate of Agricultural Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Agrotechnologies and Soil Science, Sumy National Agrarian University, Ukraine

1. Вступ

У сучасному сільському господарстві використання добрив стало незамінним для підвищення продуктивності сільськогосподарських культур та задоволення постійно зростаючого світового попиту на продовольство (Trotsenko, et al., 2020). Кукурудза (*Zea mays*) – одна із сільськогосподарських культур, що є надзвичайно важливою ланкою харчування, а також є однією із культур, що є найбільш експортованими (Hryhoriv et al., 2022). Якість кукурудзи, що визначається вмістом в її зерні крохмалю, олії, білка та золи, не тільки впливає на її харчову цінність, але також впливає на можливості її застосування у різних промислових процесах (de Matos Nascimento et al., 2020).

Внесення добрив відіграє ключову роль в оптимізації врожайності та якості культур, забезпечуючи необхідні поживні речовини, необхідні для росту та розвитку рослин (Ramírez-Silva et al., 2022; Datsko et al., 2024). Характеристики якості кукурудзи мають вирішальне значення як для промисловості, так і для людського життя. Наприклад, вміст крохмалю впливає на його використання у виробництві харчових продуктів та етанолу (Hoang, & Nghiem, 2021). Вміст олії, актуальний для виробництва олії та біодизелю (Wang et al., 2023). Вміст золи, що свідчить про накопичення мінеральних і поживних речовин та вміст білка, важливі при розрахунку норми кормів для тварин (Loy, & Lundy, 2019). Однак виявити вплив біодобрива на ці атрибути є складним завданням, на нього також впливають такі фактори, як тип ґрунту, клімат, гібрид або сорт та норми внесення (Radchenko, & Pshychenko, 2022; Shelest et al., 2023).

Метою цієї наукової роботи є дослідження впливу біодобрива *Leanum* (L) та *Vitamin O7* (V) на якість зерна кукурудзи при різній обробці ґрунту.

2. Методика досліджень

Експериментальне дослідження проводилось на базі Сумського національного аграрного університету, в північно-східній частині Лісостепу України (координати: 50.880533, 34.768552). Клімат за класифікацією Кеппена – вологий континентальний (Dfb). Вегетаці-

ний період культури, що досліджувалась тривав 197–204 дні, сума ефективних температур $>10^{\circ}\text{C}$ – 1064–1266 $^{\circ}\text{C}$, середньорічні опади – 549–646 мм, із яких близько 70% припадає на літо.

Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем типовий слабовилугований середньогумусний, родючість середня: органічний вуглець – 1,6%, кислотність ґрунтового розчину ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) – 6,35. Вміст фосфору та калію підвищений, а азоту, сірки, цинку, міді та бору – низький.

Погодні умови (2020–2022 рр.):

– 2020 рік: найнижча кількість опадів – 264,4 мм, ефективні температури $>10^{\circ}\text{C}$ – 891 $^{\circ}\text{C}$.

– 2021 рік: середні опади – 330,5 мм, максимум ефективних температур – 1266 $^{\circ}\text{C}$.

– 2022 рік: найвища кількість опадів – 431 мм, мінімальні ефективні температури – 1064 $^{\circ}\text{C}$.

Дослідження проводилося на сертифікованому полі «Органік-стандарт» ННБК СНАУ у 2020–2022 роках з метою оцінки впливу різних біодобрив і способів обробітку ґрунту на продуктивність кукурудзи. Для дослідів використовували два гібриди: Гармоніум (ФАО 380) та Хемінгвей (ФАО 280). Технологія вирощування відповідала загальноприйнятим стандартам для північно-східного Лісостепу України, а сівба здійснювалася широкорядним способом із міжряддями 70 см.

Схема дослідів передбачала вивчення трьох основних факторів: (1) гібридів кукурудзи, (2) способів обробітку ґрунту та (3) удобрювальних продуктів. Серед обробіток випробовували оранку (25–28 см), плоскорізний обробіток (25–28 см), дискування середньої (15–18 см) та малої (5–8 см) глибини. Біодобрива включали VITAMIN O7, LEANUM та їх комбінації, що застосовувались як для обробки насіння, так і позакореневого підживлення у фазах ВВСН13 і ВВСН17. Контрольні варіанти не обробляли біодобривами.

Спостереження проводились у ключові фази розвитку кукурудзи: викидання волоті та фізіологічна стиглість. Це дозволило оцінити ефективність різних обробіток ґрунту та біодобрив за показниками росту та розвитку рослин. Отримані результати допомагають оптимізувати технології вирощування кукурудзи в органічному землеробстві.

3. Якісні показники зерна

Загалом, результати, що були отримані за три роки досліджень показали, що вміст протеїну за вирощування Гармоніуму (табл. 1) збільшився за виконання оранки на глибину 25-28 см та обробки 2 LEANUM, на плоскорізному обробітку на глибину 25-28 см за інокуляції VITAMIN O7, а за дискування на глибину 5-8 см за обробки по листу 1 LEANUM та інокуляції VITAMIN O7. На інших варіантах вміст протеїну був в межах отриманих на контролі, або був суттєво нижчим за нього. Вміст олії в зерні кукурудзи збільшився лише на варіанті дискування на глибину 5-8 см та комбінованої обробки LEANUM + 1 LEANUM. Найвищий показник крохмалю за оранки на глибину 25-28 см був зафіксований за комбінованих обробок VITAMIN O7 + 2 LEANUM і LEANUM + 1 LEANUM. На плоскорізному обробітку на глибину 25-28 см – за комбінованої обробки LEANUM + 2 LEANUM. На інших варіантах вміст на одному рівні з контрольним варіантом, що не має суттєвої відмінності. Водночас, збільшення вмісту золи за оранки на глибину 25-28 см було відмічене на варіантах 2 LEANUM, інокуляція LEANUM та LEANUM + 2 LEANUM.

Варто відмітити, що за використання комбінованої обробки LEANUM + 2 LEANUM вміст золи збільшився і на обробітку ґрунту дискування на глибину 5-8 см. Водночас, збільшення вмісту клітковини не було зафіксовано на жодному із варіанті.

При вирощуванні Хемінгуею (табл. 2) вміст протеїну у зерні кукурудзи був суттєво вищий лише при виконанні дискування на глибину 5-8 см та комбінованій обробці VITAMIN O7 + 2 LEANUM та обробці по листу 1 LEANUM. Показники олійності за виконання оранки на глибину 25-28 см збільшувались на комбінованих варіантах обробки удобрювальними продуктами, зокрема, VITAMIN O7 + 1 LEANUM, LEANUM + 1 LEANUM, LEANUM + 2 LEANUM та інокуляції LEANUM. На варіанті плоскорізного обробітку на глибину 25-28 см вміст олії збільшився на контролі (без обробки біодобривами) та варіантах 2 LEANUM, LEANUM + 2 LEANUM. За дискування на глибину 15-18 см не було суттєвого збільшення, проте за виконання дискування на глибину 5-8 см вміст олії збільшився при виконанні комбінованих обробок VITAMIN O7 + 2 LEANUM та LEANUM + 1 LEANUM. Вміст крохмалю в зерні збільшився на двох обробках ґрунту.

Якісні показники врожаю гібрида Гармоніум у 2020-2022 рр.

Обробіток ґрунту	Біодобриво	Якісні показники врожаю, сира речовина (%)				
		Протеїн	Олія	Крохмаль	Зола	Клітковина
1	2	3	4	5	6	7
Оранка 25-28 см	Контроль	7,71	4,01	73,65	1,94	3,60
	1 LEANUM	8,18	4,15	74,82	2,01	3,68
	2 LEANUM	8,29	4,00	75,02	2,08	3,71
	VITAMIN O7	6,39	3,64	76,39	1,63	3,86
	VITAMIN O7 + 1 LEANUM	7,23	3,70	74,81	1,76	3,73
	VITAMIN O7 + 2 LEANUM	7,16	4,14	78,23	1,86	3,76
	LEANUM	7,70	3,95	69,93	2,08	3,54
	LEANUM + 1 LEANUM	7,64	4,06	76,53	1,93	3,70
LEANUM + 2 LEANUM	7,75	4,10	75,80	2,16	3,78	
Плоскорізний обробіток 25-28 см	Контроль	6,87	3,75	73,08	1,67	3,23
	1 LEANUM	7,58	3,81	76,37	1,70	3,25
	2 LEANUM	7,88	3,74	76,15	1,69	3,41
	VITAMIN O7	8,43	3,38	69,79	1,95	3,27
	VITAMIN O7 + 1 LEANUM	7,54	3,98	75,99	1,71	3,47
	VITAMIN O7 + 2 LEANUM	7,66	4,09	75,21	1,75	3,63
	LEANUM	7,56	3,70	72,37	2,01	3,44
	LEANUM + 1 LEANUM	7,31	3,94	74,42	1,81	3,25
LEANUM + 2 LEANUM	7,60	4,10	77,47	1,88	3,39	
Дискування 15-18 см	Контроль	7,36	3,37	68,53	1,66	2,99
	1 LEANUM	7,63	3,39	70,13	1,57	2,94
	2 LEANUM	7,52	3,33	71,13	1,41	3,01
	VITAMIN O7	7,83	3,47	65,87	1,65	2,90

Chapter «Agricultural sciences»

Продовження Таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7
	VITAMIN O7 + 1 LEANUM	6,89	3,50	72,60	1,34	3,13
	VITAMIN O7 + 2 LEANUM	7,45	3,65	71,07	1,56	3,19
	LEANUM	6,98	3,65	70,07	1,58	3,05
	LEANUM + 1 LEANUM	6,82	3,74	70,86	1,51	2,96
	LEANUM + 2 LEANUM	7,67	3,99	72,92	1,79	3,30
Дискування 5-8 см	Контроль	7,35	3,74	73,41	1,69	3,38
	1 LEANUM	8,25	3,82	72,93	1,90	3,10
	2 LEANUM	7,71	4,13	75,38	1,84	3,66
	VITAMIN O7	8,51	3,48	73,39	1,96	3,15
	VITAMIN O7 + 1 LEANUM	7,99	3,28	71,52	1,74	3,16
	VITAMIN O7 + 2 LEANUM	6,97	3,83	75,54	1,39	3,09
	LEANUM	7,52	4,02	74,68	1,55	3,34
	LEANUM + 1 LEANUM	7,96	4,29	74,60	2,00	3,67
	LEANUM + 2 LEANUM	7,69	4,19	74,26	2,15	3,72
Критерій Дункана	0,5	0,23	2,76	0,12	0,26	

Так, на оранці на глибину 25-28 см показник підвищився за виконання комбінованих обробок LEANUM і LEANUM + 2 LEANUM. А на плоскорізному обробітку на глибину 25-28 см при виконанні обробок VITAMIN O7 + 1 LEANUM і LEANUM + 1 LEANUM. Вміст золи в зерні кукурудзи за оранки збільшився на варіантах обробітку LEANUM + 2 LEANUM та інокуляції LEANUM. За плоскорізного обробітку на глибину 25-28 см вміст показника, що аналізується, збільшився за інокуляції VITAMIN O7 і LEANUM та комбінованої обробки LEANUM + 2 LEANUM. При дискуванні на глибину 15-18 см не було суттєвого збільшення золи у зерні кукурудзи. А на варіанті дискування на глибину 5-8 см вміст золи збільшився за інокуляції зерна LEANUM перед сівбою. Вміст клітковини не мав суттєвого збільшення на жодному із варіантів.

Якісні показники врожаю гібрида Хемінгуей у 2020-2022 рр.

Обробіток ґрунту	Біодобриво	Якісні показники врожаю, сира речовина (%)				
		Протеїн	Олія	Крохмаль	Зола	Клітковина
1	2	3	4	5	6	7
Оранка 2,5-28 см	Контроль	7,80	3,96	73,65	1,91	3,85
	1 LEANUM	7,90	4,11	73,88	1,93	3,81
	2 LEANUM	7,33	3,96	75,95	1,85	3,96
	VITAMIN O7	7,46	4,16	74,36	1,90	3,70
	VITAMIN O7 + 1 LEANUM	7,45	4,25	73,39	1,87	3,76
	VITAMIN O7 + 2 LEANUM	7,43	3,78	74,45	2,01	3,80
	LEANUM	7,85	4,75	73,69	2,13	3,77
	LEANUM + 1 LEANUM	7,13	4,34	77,26	1,91	4,06
	LEANUM + 2 LEANUM	7,80	4,40	78,50	2,21	4,04
Плоскорізний обробіток 2,5-28 см	Контроль	7,77	4,43	72,39	1,98	3,60
	1 LEANUM	8,13	3,91	74,28	1,86	3,59
	2 LEANUM	7,79	4,45	75,19	1,99	3,72
	VITAMIN O7	8,21	4,06	71,12	2,13	3,67
	VITAMIN O7 + 1 LEANUM	7,67	3,93	76,73	1,74	3,60
	VITAMIN O7 + 2 LEANUM	7,23	4,22	75,25	1,83	3,76
	LEANUM	7,59	3,93	74,45	2,17	4,01
	LEANUM + 1 LEANUM	7,03	3,85	76,69	1,59	3,70
LEANUM + 2 LEANUM	7,73	4,27	75,15	2,19	3,73	
Дискування 1,5-18 см	Контроль	6,77	3,77	68,20	1,56	3,20
	1 LEANUM	6,78	3,81	71,61	1,48	3,18
	2 LEANUM	7,04	3,90	71,28	1,57	3,07
	VITAMIN O7	7,86	3,77	66,62	1,64	3,06
	VITAMIN O7 + 1 LEANUM	7,08	3,84	72,07	1,44	3,19

1	2	3	4	5	6	7
	VITAMIN O7 + 2 LEANUM	7,02	3,73	71,02	1,60	3,19
	LEANUM	6,73	3,51	70,42	1,61	3,39
	LEANUM + 1 LEANUM	7,29	3,99	70,83	1,85	3,53
	LEANUM + 2 LEANUM	7,27	3,63	71,74	1,64	3,20
Дискування 5-8 см	Контроль	6,87	3,91	74,81	1,67	3,81
	1 LEANUM	8,72	4,04	73,67	1,71	3,18
	2 LEANUM	7,67	4,20	74,95	1,78	3,61
	VITAMIN O7	7,06	3,84	72,60	1,66	3,29
	VITAMIN O7 + 1 LEANUM	8,30	4,15	72,13	1,95	3,35
	VITAMIN O7 + 2 LEANUM	8,64	4,31	73,06	2,02	3,25
	LEANUM	7,99	3,53	70,75	2,23	3,62
	LEANUM + 1 LEANUM	7,84	4,40	74,64	1,90	3,80
LEANUM + 2 LEANUM	7,51	3,95	74,79	2,01	3,94	
Критерій Дункана		0,73	0,27	2,75	0,20	0,28

Аналізуючи отримані дані, можна дійти до висновку, що якщо піднімається значення одного з показників, падає вміст іншого і лише за деякими виключеннями суттєво збільшується декілька показників. Так, при вирощуванні Гармоніуму та виконанні оранки на глибину 25-28 см відбулось суттєве збільшення вмісту протеїну і золи у сирій речовині за обробки по листу (2 LEANUM). Проте, за виконання дискування на глибину 5-8 см за інокуляції VITAMIN O7 суттєво підвищився вміст протеїну, проте знизилась олійність. При цьому за вирощування Хемінгуею і виконання оранки на глибину 25-28 см при комбінованій обробці LEANUM + 2 LEANUM збільшився вміст олії, крохмалю і золи. Водночас, за плоскорізного обробітку на глибину 25-28 см та обробок LEANUM + 1 LEANUM суттєво збільшився вміст крохмалю, проте знизився вміст протеїну і золи. За обробки ґрунту дисками на глибину 15-18 см не відбулось жодного суттєвого

збільшення показників, лише зменшення. А на варіанті дискування на глибину 5-8 см суттєве збільшення протеїну і олії відбулось при комбінованій обробці VITAMIN O7 + 2 LEANUM, проте за цього варіанту суттєво зменшився вміст клітковини.

Схожі дослідження з впливу ефективних мікроорганізмів на якість врожаю кукурудзи вже проводились. Так, доведено, *Rhizobium leguminosarum* значно впливає на вміст крохмалю і білку в зерні (Santoyo et al., 2021). Збільшення вмісту інших структур, за виконання інокуляції довели й інші вчені Pereira et al., (2023), Mondal et al., (2020).

4. Кореляційний аналіз впливу агроприймів на якість зерна кукурудзи

У сучасному сільському господарстві важливим завданням є підвищення продуктивності культур за одночасного збереження родючості ґрунтів та екологічного балансу. Використання біодобрив і раціональних методів обробітку ґрунту є одним із перспективних напрямів розвитку органічного землеробства. У рамках проведених досліджень було вивчено вплив різних способів обробітку ґрунту та удобрювальних продуктів на продуктивність кукурудзи за умов органічного виробництва.

Отже, якщо брати до уваги вплив досліджуваних факторів на показники якості врожаю за вирощування Гармоніуму можна виділити, що ні обробіток ґрунту, ні біодобриво не мали значного кореляційного зв'язку з вмістом білку у зерні кукурудзи (табл. 3). Проте, вплив обробітку ґрунту та вмісту олії у зерні мав статистичну значущість ($p < 0,05$) та вказує на слабку негативну кореляцію (-0,217). При цьому, вплив удобрювальних продуктів нівелював цей вплив, оскільки вони виявили статистично значущу помірну позитивну кореляцію (0,344). Схожі результати були отримані й для вмісту крохмалю. Так, обробіток ґрунту виявив слабку негативну кореляцію із показником -0,206 ($p < 0,05$), проте, ґрунтові пробіотики, навпаки, позитивну (0,111), що було статистично достовірними показниками. Такі ж зв'язки були помічені і при аналізі кореляційного впливу золи та клітковини. Зокрема, кореляція між удобрювальними продуктами і вмістом золи у зерні кукурудзи дорівнює 0,161. Це показує слабку позитивну кореляцію між цими змінними, що є достовірно значущою. Кореляція

між обробітком ґрунту та вмістом золи становить -0,288. Це показує статистично достовірну помірну негативну кореляцію між цими змінними. Обробіток ґрунту мав помірну негативну кореляцію із клітковиною, в той час як удобрювальні продукти слабку позитивну. Водночас, обробіток ґрунту за вирощування Гармоніуму мав слабку негативну кореляцію з урожайністю (-0,349), а біодобрива – слабку позитивну (0,298).

І хоч, за обробітками ґрунту, кореляція була переважно негативною, тобто призводила до зменшення показника, необхідно розглянути цю ситуацію більш детально.

Таблиця 3

Кореляція між показниками якості та урожайністю Гармоніуму

Показники	Обробіток	Біодобриво	Білок	Олія	Крохмаль	Зола	Клітковина	Урожайність
Обробіток	1,000							
Біодобриво	-0,006	1,0						
Білок	0,005	-0,097	1,0					
Олія	-0,217*	0,344	0,337*	1,0				
Крохмаль	-0,206*	0,111*	-0,082	0,362*	1,0			
Зола	-0,288*	0,161*	0,571*	0,521*	0,142*	1,0		
Клітковина	-0,412*	0,135*	-0,142*	0,261*	0,641*	0,414*	1,0	
Урожайність	-0,349*	0,298*	0,015	0,197*	0,160*	0,154*	0,156*	1,0

Примітка: * - вказує на істотну значущість, де $p < 0,05$

Так, за виконання оранки на глибину 25-28 см удобрювальні продукти мають слабку негативну кореляцію з вмістом білку, олії та клітковини. Взаємозв'язки з іншими змінними є незначними або відсутніми. Вміст білку, олії, крохмалю і золи мають різні рівні взаємозв'язків між собою. Наприклад, білок має помірну позитивну кореляцію з золою, але слабку негативну кореляцію з олією. Крохмаль має сильну позитивну кореляцію з золою, але слабку негативну кореляцію з використанням удобрювальних продуктів. Вміст клітковини має сильну позитивну кореляцію з крохмалем та слабку негативну кореля-

цію з використанням біодобрив. За виконання плоскорізного обробітку ґрунту на глибину 25-28 см удобрювальні продукти показали, що мають дуже слабку позитивну кореляцію з вмістом білку, олії, і золи. Взаємозв'язки з іншими змінними є незначними або відсутніми. Білок, олія, крохмаль і зола мають різні рівні взаємозв'язків між собою. Наприклад, білок і олія, мають слабку позитивну кореляцію з біодобривами і золою. Крохмаль має слабку позитивну кореляцію із золою та помірну позитивну кореляцію з клітковиною. Водночас, зола має слабку позитивну кореляцію з удобрювальними продуктами і клітковиною. У свою чергу клітковина має слабку позитивну кореляцію з вмістом крохмалю і золи. За виконання дискування на глибину 15-18 см біодобрива мають слабку негативну кореляцію з вмістом білку у зерні кукурудзи. Також, білок має слабку позитивну кореляцію з олією і клітковиною. Олія має помірну позитивну кореляцію з крохмалем. Зола має слабку позитивну кореляцію з клітковиною. За виконання дискування на глибину 5-8 см вміст білку має позитивну кореляцію із вмістом золи в зерні. Водночас, вміст олії має слабку позитивну кореляцію із вмістом клітковини та помірну із використанням удобрювальних продуктів. Сильну позитивну кореляцію можна відмітити для крохмалю і клітковини.

Варто описати й варіанти з використанням удобрювальних продуктів. Так, на контрольному варіанті обробіток ґрунту мав помірну негативну кореляцію з олією та золою. Така ж тенденція була помічена і на варіанті 1 LEANUM, проте з олією крохмалем і клітковиною. На варіанті 2 LEANUM слабка негативна кореляція обробітку ґрунту була відмічена з олією, крохмалем та золою. Водночас, кореляція обробітку ґрунту за інокуляції VITAMIN O7 перед сівбою була помірно позитивною з білком та золою і сильною негативною з клітковиною. Однак, на варіантах VITAMIN O7 + 1 LEANUM та VITAMIN O7 + 2 LEANUM кореляція обробітку ґрунту із показниками врожайності була в більшості випадків сильно негативною. За інокуляції LEANUM кореляція обробітку ґрунту з крохмалем була помірно позитивною, в той час як для золи сильно негативною, а для клітковини середньо негативною. На варіантах LEANUM + 1 LEANUM та LEANUM + 2 LEANUM жодних кореляцій з обробітком ґрунту відмічено не було.

За вирощування Хемінгуею обробіток ґрунту знову ж таки мав слабку негативну кореляцію для вмісту олії, крохмалю та клітковини в зерні кукурудзи, що були статистично значущими (табл. 4). При цьому вміст білку та золи також мали слабку негативну кореляцію з обробітком ґрунту, проте показник не був статистично достовірним ($p > 0,05$). Водночас, удобрювальні продукти мали слабку позитивну кореляцію для крохмалю, золи і клітковини, ці показники мали високий рівень достовірності ($p < 0,05$).

Таблиця 4

Кореляція між показниками якості та урожайністю Хемінгуею

Показники	Обробіток	Біодобриво	Білок	Олія	Крохмаль	Зола	Клітковина	Урожайність
Обробіток	1,000							
Біодобриво	0,000	1,0						
Білок	-0,041	0,010	1,0					
Олія	-0,192*	-0,000	0,628	1,0				
Крохмаль	-0,271*	0,114*	-0,203*	0,190*	1,0			
Зола	-0,241	0,219*	0,712*	0,575*	-0,031	1,0		
Клітковина	-0,378*	0,205*	-0,323*	0,048	0,709*	0,191*	1,0	
Урожайність	-0,148*	0,323*	0,065	0,049	0,008	0,123*	0,058	1,0

Примітка: * - вказує на істотну значущість, де $p < 0,05$

Якщо розглядати більш детально, то за виконання оранки на глибину 25-28 см біодобрива мали слабку позитивну кореляцію, яка є статистично значимою, з усіма показниками якості, що аналізуються, за винятком білку. В свою чергу білок мав помірну позитивну кореляцію із вмістом олії та золи, проте негативну з крохмалем та клітковиною. Олія ж мала середню позитивну кореляцію із білком та золою. Крохмаль сильну позитивну кореляцію із клітковиною, проте слабку негативну із білком та золою. За виконання плоскорізного обробітку ґрунту на глибину 25-28 см удобрювальні продукти мали слабку позитивну кореляцію із крохмалем та клітковиною, проте слабку негативну із білком. У свою чергу, білок в зерні кукурудзи мав позитивну кореляцію

із олією та золюю, проте негативну із крохмалем та клітковиною. Олія мала позитивну кореляцію із золюю та слабку негативну кореляцію із клітковиною. Крохмаль мав негативну кореляцію із білком та золюю та сильну позитивну з клітковиною. Для дискування на глибину 15-18 см біодобрива мали слабку позитивну кореляцію із золюю та клітковиною. При цьому порівнюючи кореляцію всіх компонентів якості, що аналізуються, можна сказати, що всі вони мали позитивну кореляцію різного ступеню між собою, окрім кореляції із клітковиною, що мала середню негативну кореляцію із білком та олією. Стосовно дискування на глибину 5-8 см кореляція удобрювальних продуктів мала позитивний характер лише із золюю та клітковиною. Водночас, білок мав позитивну кореляцію із олією та золюю і негативну з крохмалем та клітковиною. Олія мала помірну позитивну кореляцію із білком та сильну із золюю. В той час як крохмаль мав помірну негативну кореляцію із білком та золюю і сильну позитивну із клітковиною. Зола мала сильну позитивну кореляцію із білком та помірну позитивну із олією, проте помірну негативну із крохмалем та слабку негативну із клітковиною. Варто додати, що всі зазначені приклади мали статистичну достовірність ($p < 0,05$).

Також, варто описати вплив використання удобрювальних продуктів на якість зерна кукурудзи. Так, на контрольному варіанті обробіток ґрунту має помірну негативну кореляцію з білком та золюю. Водночас, всі показники якості, що аналізуються, мають сильну позитивну кореляцію один з одним. Наприклад вміст білку позитивно корелює із вмістом олії та золи. На варіанті 1 LEANUM білок має ще більшу позитивну кореляцію, порівняно з контролем, до вмісту олії та золи в зерні. Проте, обробіток ґрунту може негативно вплинути на вміст золи та клітковини. Схожа ситуація з впливом обробітку ґрунту і на варіанті 2 LEANUM, однак, збільшення вмісту білку позитивно корелює із вмістом олії (0,906), крохмалю та золи. За інокуляції VITAMIN O7 всі показники врожайності також позитивно корелюють між собою. Водночас, на варіанті VITAMIN O7 + 1 LEANUM кореляція вмісту білка є сильною та позитивною із олією і золюю, проте сильною негативною з крохмалем та клітковиною. Така ж ситуація і з варіантом VITAMIN O7 + 2 LEANUM. За використання інокуляції LEANUM білок має сильну позитивну кореляцію із золюю і

сильну негативну з клітковиною, а вміст олії сильну позитивну з крохмалем та помірну позитивну з клітковиною. Крохмаль, у свою чергу, має сильну позитивну кореляцію з олією та клітковиною. На варіанті LEANUM + 1 LEANUM білок має сильну позитивну кореляцію з олією та золюю і слабку негативну з крохмалем. А олія сильну позитивну із білком та золюю. Варіант LEANUM + 2 LEANUM має лише позитивні кореляції між показниками якості врожаю.

Загалом в дослідженнях, що були проведені на території Сумського НАУ встановлено, що різні способи обробітку ґрунту мали різний вплив на якість врожаю (Zakharchenko, et al., 2024). У праці Simić et al. (2020) було доведено, що обробіток ґрунту значною мірою впливає на урожайність та якість зерна кукурудзи на чорноземних ґрунтах, зокрема, найкращий результат був отриманий за виконання традиційного обробітку. Схожі результати були отримані і в Німеччині на піщаних ґрунтах, за використання нульового обробітку ґрунту урожайність кукурудзи на силос зменшилась вдвічі (Нунн et al., 2019).

5. Висновки

На основі проведених трирічних польових досліджень встановлено, що способи обробітку ґрунту та застосування біодобрив значно впливають на якість зерна кукурудзи і його врожайність. Зокрема, традиційний обробіток ґрунту (оранка на глибину 25-28 см) у поєднанні з комбінованим внесенням біопрепаратів LEANUM і VITAMIN O7 забезпечував найкращі результати за вмістом протеїну, крохмалю та олії. Крім того, застосування позакореневого підживлення у фазах ВВСН13 та ВВСН17 суттєво підвищувало якісні показники зерна, особливо у гібриду Гармоніум. За дискування на глибину 5–8 см спостерігалось збільшення вмісту олії, проте загальний рівень врожайності знижувався, що свідчить про важливість правильного вибору методу обробітку для досягнення оптимального балансу між якістю і кількістю продукції.

Кореляційний аналіз виявив різноспрямовану залежність між показниками якості зерна і факторами агротехніки. Обробіток ґрунту мав переважно негативний вплив на вміст протеїну, олії та клітковини, тоді як біодобрива сприяли їхньому підвищенню. Помірна позитивна кореляція між біодобривами і вмістом крохмалю та золи підтверджує

їх ефективність у покращенні якісних характеристик зерна. Також було встановлено, що використання комбінованих добрив забезпечувало стабільно високі показники якості зерна, навіть за менш інтенсивних методів обробітку ґрунту. Отже, комбінування оптимальних способів обробітку ґрунту з раціональним використанням біопрепаратів є перспективним напрямом підвищення продуктивності кукурудзи, що особливо важливо в умовах органічного землеробства.

Список літератури:

1. Datsko, O., Kovalenko, V., Yatsenko, V., Sakhoshko, M., Hotvianska, A., Solohub, I., Horshchar, V., Dubovyk, I., Kriuchko, L., Tkachenko, R. Increasing soil fertility as a factor in the sustainability of agriculture and resilience to climate change. *Modern Phytomorphology*. 2024. №18. Vol. 4. P. 110–113.
2. de Matos Nascimento, A., Maciel, A. M., Silva, J. B. G., Mendonça, H. V., de Paula, V. R., & Otenio, M. H. Biofertilizer application on corn (*Zea mays*) increases the productivity and quality of the crop without causing environmental damage. *Water, Air, & Soil Pollution*. 2020. Vol. 231. P. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04778-6>
3. Hoang, T.-D., & Nghiem, N. Recent Developments and Current Status of Commercial Production of Fuel Ethanol. *Fermentation*. 2021. № 7. Vol. 4. P. 314. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation7040314>
4. Hryhoriv, Y., Nechyporenko, V., Butenko, A., Lyshenko, M., Kozak, M., Onoprienko, I., Shumkova O., Shumkova V., Kriuchko, L. Economic efficiency of sweet corn growing with nutrition optimization. *Journal of Agricultural Science*. 2022. №1. Vol. 33. P. 81–87. DOI: <https://doi.org/10.15159/jas.22.07>
5. Huynh, H. T., Hufnagel, J., Wurbs, A., Bellingrath-Kimura, S. D. Influences of soil tillage, irrigation and crop rotation on maize biomass yield in a 9-year field study in Müncheberg, Germany. *Field Crops Research*. 2019. Vol. 241. P. 107565. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107565>
6. Loy, D. D. and Lundy, E. L. Nutritional Properties and Feeding Value of Corn and Its Coproducts. In *Corn*. AACCI International Press. 2019. P. 633–659. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00023-1>
7. Mondal, S., Halder, S. K., Yadav, A. N., Mondal, K. C. Microbial Consortium with Multifunctional Plant Growth-Promoting Attributes: Future Perspective in Agriculture. In: Yadav, A., Rastegari, A., Yadav, N., Kour, D. (eds) *Advances in Plant Microbiome and Sustainable Agriculture*. *Microorganisms for Sustainability*, 20. 2020. Springer, Singapore. DOI: https://doi-org.infozdroje.czu.cz/10.1007/978-981-15-3204-7_10
8. Pereira, J. F., Oliveira, A. L. M., Sartori, D., Yamashita, F., Mali, S. Perspectives on the Use of Biopolymeric Matrices as Carriers for Plant-Growth Promoting Bacteria in Agricultural Systems. *Microorganisms*. 2023. № 11. Vol. 2. P. 467. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms11020467>
9. Radchenko, M. V., & Pshychenko, O. I. Influence of varieties and mineral fertilization on growth and development of spring barley under conditions

of the North-Eastern part of the Forest Steppe of Ukraine. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Agronomy and Biology*. 2022. № 46. Vol. 4. P. 55–61. DOI: <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.4.8>

10. Santoyo, G., Gamalero, E., & Glick, B. R. Mycorrhizal-bacterial amelioration of plant abiotic and biotic stress. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2021. Vol. 5. P. 672881. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.672881>

11. Shelest, M., Kalnaguz, A., Datsko, O., Zakharchenko, E., Zubko, V. System of pre-sowing seed inoculation. *Scientific Horizons*. 2023. № 26. Vol. 7. P. 140–148. DOI: <https://doi.org/10.48077/scihor7.2023.140>

12. Simić, M., Dragičević, V., Mladenović Drinić, S., Vukadinović, J., Kresović, B., Tabaković, M., Brankov, M. The contribution of soil tillage and nitrogen rate to the quality of maize grain. *Agronomy*. 2020. №10. Vol. 7. P. 976. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10070976>

13. Trotsenko, V., Kabanets, V., Yatsenko, V., & Kolosok. I. Models of sunflower productivity formation and their efficiency in the conditions of the north-eastern Forest-Steppe of Ukraine. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Agronomy and Biology*. 2020. № 40. Vol. 2. P. 72–78. DOI: <https://doi.org/10.32782/agrobio.2020.2.9>

14. Wang, J., Huang, Z., Jiang, Q., Roubík, H., Xu, Q., Cai, M., Yang K. Sun, P. Fungal solid-state fermentation of crops and their by-products to obtain protein resources: The next frontier of food industry. *Trends in Food Science & Technology*. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.06.020>

15. Zakharchenko, E., Datsko, O., Butenko, S., Mishchenko, Y., Bakumenko, O., Prasol, V., Dudka, A., Tymchuk, A., Leshchenko, D., Novikova, A. The Influence of Organic Growing of Maize Hybrids on the Formation of Leaf Surface Area and Chlorophyll Concentration. *Journal of Ecological Engineering*. 2024. № 25. Vol. 5. P. 156–164. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/186162>

References:

1. Datsko, O., Kovalenko, V., Yatsenko, V., Sakhoshko, M., Hotvianska, A., Solohub, I., Horshchar, V., Dubovyk, I., Kriuchko, L., Tkachenko, R. (2024). Increasing soil fertility as a factor in the sustainability of agriculture and resilience to climate change. *Modern Phytomorphology*, 18(4), 110–113.

2. de Matos Nascimento, A., Maciel, A. M., Silva, J. B. G., Mendonça, H. V., de Paula, V. R., & Otenio, M. H. (2020). Biofertilizer application on corn (*Zea mays*) increases the productivity and quality of the crop without causing environmental damage. *Water, Air, & Soil Pollution*, 231, 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04778-6>

3. Hoang, T.-D., & Nghiem, N. (2021). Recent Developments and Current Status of Commercial Production of Fuel Ethanol. *Fermentation*, 7(4), 314. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation7040314>

4. Hryhoriv, Y., Nechyporenko, V., Butenko, A., Lyshenko, M., Kozak, M., Onoprienko, I., Shumkova O., Shumkova V., Kriuchko, L. (2022). Economic efficiency of sweet corn growing with nutrition optimization. *Journal of Agricultural Science* 1(33), 81–87. DOI: <https://doi.org/10.15159/jas.22.07>

5. Huynh, H. T., Hufnagel, J., Wurbs, A., Bellingrath-Kimura, S. D. (2019). Influences of soil tillage, irrigation and crop rotation on maize biomass yield in a 9-year field study in Müncheberg, Germany. *Field Crops Research*, 241, 107565. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107565>
6. Loy, D. D. and Lundy, E. L. (2019). Nutritional Properties and Feeding Value of Corn and Its Coproducts. In *Corn*. AACC International Press. 633–659. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00023-1>
7. Mondal, S., Halder, S. K., Yadav, A. N., Mondal, K. C. (2020). Microbial Consortium with Multifunctional Plant Growth-Promoting Attributes: Future Perspective in Agriculture. In: Yadav, A., Rastegari, A., Yadav, N., Kour, D. (eds) *Advances in Plant Microbiome and Sustainable Agriculture*. Microorganisms for Sustainability, 20. Springer, Singapore. DOI: https://doi-org.infozdroje.czu.cz/10.1007/978-981-15-3204-7_10
8. Pereira, J. F., Oliveira, A. L. M., Sartori, D., Yamashita, F., Mali, S. (2023). Perspectives on the Use of Biopolymeric Matrices as Carriers for Plant-Growth Promoting Bacteria in Agricultural Systems. *Microorganisms*, 11(2), 467. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms11020467>
9. Radchenko, M. V., & Pshychenko, O. I. (2022). Influence of varieties and mineral fertilization on growth and development of spring barley under conditions of the North-Eastern part of the Forest Steppe of Ukraine. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Agronomy and Biology*, 46(4), 55–61. DOI: <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.4.8>
10. Santoyo, G., Gamalero, E., & Glick, B. R. (2021). Mycorrhizal-bacterial amelioration of plant abiotic and biotic stress. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 672881. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.672881>
11. Shelest, M., Kalnaguz, A., Datsko, O., Zakharchenko, E., & Zubko, V. (2023). System of pre-sowing seed inoculation. *Scientific Horizons*, 26(7), 140–148. DOI: <https://doi.org/10.48077/scihor7.2023.140>
12. Simić, M., Dragičević, V., Mladenović Drinić, S., Vukadinović, J., Kresović, B., Tabaković, M., Brankov, M. (2020). The contribution of soil tillage and nitrogen rate to the quality of maize grain. *Agronomy*, 10(7), 976. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10070976>
13. Trotsenko, V., Kabanets, V., Yatsenko, V., & KolosokI. (2020). Models of sunflower productivity formation and their efficiency in the conditions of the north-eastern Forest-Steppe of Ukraine. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Agronomy and Biology*, 40(2), 72–78. DOI: <https://doi.org/10.32782/agrobio.2020.2.9>
14. Wang, J., Huang, Z., Jiang, Q., Roubik, H., Xu, Q., Cai, M., Yang K. & Sun, P. (2023). Fungal solid-state fermentation of crops and their by-products to obtain protein resources: The next frontier of food industry. *Trends in Food Science & Technology*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.06.020>
15. Zakharchenko, E., Datsko, O., Butenko, S., Mishchenko, Y., Bakumenko, O., Prasol, V., Dudka, A., Tymchuk, A., Leshchenko, D., Novikova, A. (2024). The Influence of Organic Growing of Maize Hybrids on the Formation of Leaf Surface Area and Chlorophyll Concentration. *Journal of Ecological Engineering*, 25(5), 156–164. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/186162>