

УРОЖАЙНІСТЬ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ ЗАЛЕЖНО ВІД ДОВГОТРИВАЛОГО ЗАСТОСУВАННЯ ДОБРІВ У СІВОЗМІНІ ТА РОДЮЧОСТІ ҐРУНТУ

С. І. Попов, Р. А. Гутянський, Н. В. Кузьменко, С. В. Авраменко

Інститут рослинництва імені В. Я. Юр'єва НААН, пр. Героїв Харкова, 142, м. Харків, 61060, Україна

Актуальність. Проблема ефективного використання поживних речовин органічних і мінеральних добрив залежно від насичення ними ґрунту має особливо важливе значення для агроформувань, які запроваджують інтенсивні технології. На цей час, у більшості господарств має місце значна різниця між необхідною та фактичною дозою внесення добрив, що, в свою чергу, викликає високу вірогідність недобору прогнозованих урожаїв. У зв'язку з цим, питання оптимізації раціонального використання добрив при вирощуванні пшениці озимої стають першочерговими. Оцінюючи стан вивчення даної проблеми, важливо дослідити, як гній, повне мінеральне удобрення й азотне підживлення посівів впливають на родючість ґрунту та рівень урожайності зерна залежно від місця розміщення культури в сівозміні. **Мета досліджень.** Встановити вплив тривалого застосування різних систем удобрення на родючість ґрунту та закономірності формування врожайності сучасних сортів пшениці озимої. **Методи.** Польовий, вимірювально-ваговий та статистичний. **Результати.** Встановлено, що за 30 років досліджень у варіантах основного внесення $N_{30}P_{30}K_{30}$ та $N_{60}P_{60}K_{60}$ на фоні гною вміст у ґрунті обмінного калію (16,4–17,9 мг/100 г ґрунту) та рухомого фосфору (18,9–20,2 мг) відповідав високому й дуже високому рівню, а легкогідролізованого азоту (16,3–17,6 мг) – низькому та середньому. У середньому за 2004–2021 рр., на органічному фоні та за додаткового внесення $N_{30}P_{30}K_{30}$ надбавки зерна після чорного пару становили 0,38 і 0,66 т/га, а після гороху – 0,52 і 1,07 т/га відповідно. Азотне підживлення посівів у дозах N_{20} , N_{40} та N_{60} на фоні без добрив після чорного пару забезпечило приріст урожаю зерна 12,0–16,6 %, а на фоні гною + $N_{30}P_{30}K_{30}$ – 28,6–36,4 %. Після попередника горох на зерно за фонами живлення приріст зерна склав 9,1–19,9 % і 37,6–47,7 % відповідно. Найвищу окупність азотних добрив зерном одержано за підживлення посівів на неудобреному фоні – від 15,3 до 34,5 кг зерна на 1 кг азоту. На фоні гною + $N_{30}P_{30}K_{30}$ окупність 1 кг NPK зерном залежно від попередника склала 8,3–9,2 кг. **Висновки.** Дотримання сівозміни протягом 1991–2001 рр. на фоні систематичного орґано-мінерального удобрення зумовило збереження та підвищення родючості ґрунту. Після чорного пару високу врожайність пшениці озимої можливо отримати за рахунок дотримання науково обґрунтованої сівозміни, а після гороху – за використання орґано-мінеральної системи удобрення.

Ключові слова: сівозміна, родючість ґрунту, фон живлення, азотне підживлення, урожайність, ефективність, окупність

Вступ. Численними дослідженнями в різних ґрунтово-кліматичних зонах України встановлено, що майже половина приросту врожаю зернових культур досягається за рахунок раціонального і збалансованого мінерального живлення рослин. Уміст азоту, фосфору й калію в ґрунті значною мірою визначає інтенсивність росту пшениці озимої (*Triticum aestivum* L.) та поглинання нею

інших елементів живлення [1]. Узагальнені дані свідчать, що врожайність сільськогосподарських культур на 15–20 % залежить від поживних умов ґрунту та на 30–40 % – від добрив [2], а їх окупність значною мірою залежить від доз і строків застосування, типу ґрунту, попередників, вологозабезпеченості посівів тощо [3–5].

В сучасних умовах аграрії повинні

Інформація про авторів:

Попов Сергій Іванович, доктор с.-г. наук, професор, керівник відд. рослинництва та сортовивчення, e-mail: sergivpopov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1101-4454>

Гутянський Роман Анатолійович, канд. с.-г. наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник відд. рослинництва та сортовивчення, e-mail: rammale@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-5953-9428>

Кузьменко Наталя Вікторівна, канд. біол. наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник відд. рослинництва та сортовивчення, e-mail: kuz.n.v.1964@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4373-0666>

Авраменко Сергій Володимирович, доктор с.-г. наук, старший науковий співробітник, головний науковий співробітник відд. рослинництва та сортовивчення, e-mail: avsergiy1@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4737-8441>

адаптуватися до змін, викликаних мінливим кліматом і вимогами ринку. Ці пристосування пов'язані з системою удобрення та сівоzmінами, адже недостатнє й незбалансоване внесення мінеральних та органічних добрив негативно впливає на стан ґрунту [6–9]. Результати досліджень китайських науковців свідчать, що застосування органічних добрив у поєднанні зі зниженим рівнем синтетичних азотних добрив є ефективним підходом для просування сталої інтенсифікації вирощування пшениці озимої на півночі Китаю [10, 11].

Важливо дослідити, як гній, повне мінеральне удобрення (NPK) і азотне підживлення пшениці озимої впливають на врожайність зерна та властивості ґрунту залежно від попередника. Найбільш об'єктивну інформацію з цих питань можна одержати за результатами тривалих стаціонарних дослідів.

Матеріали та методи. Досліди проводили в закладеній у 1972 році стаціонарній 9-ти-пільній зерно-паро-просапній сівоzmіні з наступним чергуванням культур: чорний пар – пшениця озима – буряки цукрові – ярі зернові – горох – пшениця озима – кукурудза на зерно (0,5 поля) + соя (0,5 поля) – ярі зернові – соняшник. Ґрунт – чорнозем типовий середньогумусний слабовилужений.

Досліди закладали за багатофакторними схемами методом розщеплених ділянок з урахуванням усіх вимог методики польового дослідів [12], де найбільшими ділянками першого порядку було застосування органічних і мінеральних добрив; ділянки другого порядку – інші агроприйоми вирощування (сорт, дози азотного підживлення). Система основного удобрення включала: 1 – контроль (без добрив) – фон живлення, що утворився за рахунок чергування культур сівоzmіни; 2 – органічний фон – внесення гною, 30 т/га на двох полях сівоzmіни, що становило 6,6 т на 1 га сівоzmінної площі; 3 – органо-мінеральний обмежений фон – післядія гною + $N_{30}P_{30}K_{30}$; 4 – органо-мінеральний підвищений фон – післядія гною + $N_{60}P_{60}K_{60}$. Перед сівою на фонах живлення з орного шару (0–30 см) відбирали ґрунтові зразки для визначення вмісту основних елементів живлення (гумус, легкогідролізований азот, рухомий фосфор та обмінний калій). Протягом п'ятої ротації сівоzmіни вивчали ефектив-

ність прикореневого підживлення посівів у фазі кушіння аміачною селітрою у дозах N_{20} , N_{40} , N_{60} залежно від фону живлення. Розміщення ділянок – систематичне, загальна площа ділянок становила 34,0 м², облікова – 25,0 м². Повторність – триразова. Захист посівів – інтегрований. Інші агротехнічні заходи були загальноприйняті для східної частини Лісостепу України.

Результати та обговорення. Рівень забезпеченості ґрунту основними поживними речовинами у довгострокових експериментах представлено в табл. 1.

За результатами аналізу у 2021 р. на досліджуваних фонах удобрення вміст гумусу в ґрунті був дуже високий і знаходився в межах 5,28–5,67 %. Установлено, що під дією систематичного внесення добрив у сівоzmіні вміст у ґрунті лужногідролізованого азоту за роками зменшувався на всіх фонах живлення. Так, за період 1991–2001 рр. у середньому по фонах живлення цей показник відповідав середньому рівню і становив відповідно 18,8 і 18,9 мг/100 г ґрунту з неістотними коливаннями показників за варіантами – від 0,1–0,3 мг/кг до 0,3–0,5 мг/100 г ($HP_{05}=1,2$ мг). У подальшому, за періоди 2001–2011 та 2011–2021 рр. відмічено істотне зниження вмісту легкогідролізованого азоту на всіх фонах живлення, особливо на неудобреному. У 2011 та 2021 рр. його рівень склав відповідно 11,6 та 12,4 мг/100 г ґрунту, що на 2,4–5,0 мг та 0,2–3,4 мг менше порівняно з удобреними варіантами. При цьому за 30 років у середньому по фонах живлення вміст доступного рослинам азоту в ґрунті зменшився до 13,4 мг/100 г ґрунту, що на 5,4 мг менше порівняно до показника 1991 р. Найбільш вагоме зменшення запасів азоту за роки досліджень відмічено на фоні без добрив – 15,3 мг, що на 0,7–2,3 мг/100 г ґрунту менше, ніж на удобрених варіантах.

Встановлено, що починаючи з 2001 р. на удобрених варіантах вміст легкогідролізованого азоту в ґрунті відповідав середньому рівню, а в подальшому – низькому. У 2021 р. середній його рівень (15,8 мг) відмічено лише на підвищеному фоні удобрення. Таким чином, на зміни в диференціації гідролізованого азоту в ґрунті під дією добрив у більшій мірі впливав фактор часу. Отже, органічний фон та додаткове внесення основ-

Таблиця 1. Вплив тривалого систематичного внесення добрив у сівозміні на вміст рухомих форм NPK у ґрунті під пшеницею озимою, мг/100 г

Система удобрення (фактор В)	Рік (фактор часу А)				У серед- ньому (В)	Ефект дії добрив
	1991	2001	2011	2021		
Легкогідролізуємий азот за Корнфілдом						
Без добрив (контроль)	18,8–С*	18,4–Н	11,6–Н	12,4–Н	15,3-Н	–
Органічна (гній)	19,2-С	19,1–Н	13,0–Н	12,6–Н	16,0-С	+ 0,7
Гній + (NPK) ₃₀	18,7–С	19,1-Н	14,6–Н	12,8–Н	16,3-С	+ 1,0
Гній + (NPK) ₆₀	18,7–С	19,2–Н	16,6–С	15,8–С	17,6-С	+ 2,3
середнє (А)	18,8–С	18,9–С	13,9–Н	13,4–Н		
Ефект дії часу до 1991 р. НІР ₀₅ = 1,2	–	+ 0,1	- 4,9	- 5,4		
Рухомий фосфор за Чириковим						
Без добрив (контроль)	10,3–П	12,9П	9,1–С	8,2–С	10,1-П	–
Органічна (гній)	11,4–П	14,6–П	13,5–П	14,3–П	13,4-П	+ 3,3
Гній + (NPK) ₃₀	12,9–П	17,2–В	15,8–В	18,9–В	16,2-В	+ 6,1
Гній + (NPK) ₆₀	12,0–П	21,0–ДВ	18,5–В	20,2–ДВ	17,9-В	+ 7,8
середнє (А)	11,7–П	16,4–П	14,2–П	15,4–В	–	–
Ефект дії часу до 1991 р. НІР ₀₅ = 1,4	–	+ 4,7	+ 2,5	+ 3,7	–	–
Обмінний калій за Чириковим						
Без добрив (контроль)	11,6–П	11,9–П	12,0–В	11,1–П	11,7-П	–
Органічна (гній)	12,2–В	12,7–В	14,7–В	13,2–В	13,2-В	+ 1,5
Гній + (NPK) ₃₀	14,1–В	16,2–В	17,4–В	16,4–В	16,0-В	+ 4,3
Гній + (NPK) ₆₀	13,4–В	17,5–В	18,6–ДВ	17,9–В	16,9-В	+ 5,2
середнє (А)	12,8–В	14,6–В	15,7–В	14,7–В	–	–
Ефект дії часу до 1991 р. НІР ₀₅ = 1,2	–	+ 1,8	+ 2,9	+ 1,9		

Примітка: * Уміст поживних речовин у ґрунті: Н – низький, С – середній, П – підвищений, В – високий; ДВ – дуже високий

ного добрива N₃₀P₃₀K₃₀ з роками не забезпечили середнього рівня доступного рослинам азоту, що свідчить про важливість внесення азотних добрив при вирощуванні пшениці озимої.

За вмістом доступного рослинам фосфору було виявлено іншу залежність. На відміну від азоту у варіантах органо-мінерального удобрення вміст рухомого фосфору порівняно з контролем з роками суттєво збільшувався. На фоні післядії гною + N₆₀P₆₀K₆₀ цей показник у 2021 р. зріс на 9,0 мг/100 г порівняно з 1991 р. – на 12,0 мг (див. табл. 1). Тобто за 30 років у цьому варіанті ґрунти з підвищеним вмістом фосфору перейшли до категорії високого рівня, а за аналізом 2001 та 2021 рр. – до дуже високого (20,2 і 21,0 мг). На фоні післядії гною + N₃₀P₃₀K₃₀ вміст фосфору також був підвищений, але з показниками меншими відповідно на 3,8 мг та

1,3 мг. Отже, починаючи з 2001 р. на обох органо-мінеральних фонах живлення вміст Р₂О₅ у ґрунті перевищив рівень 15,0 мг/100 г ґрунту, що за літературними даними [13] характеризується як початок зафосфачування, а більше 20,0 мг/кг ґрунту – як сильне зафосфачування. Тобто, вирощування пшениці озимої на цих варіантах відбувалося в режимі надлишкового забезпечення ґрунту фосфатами.

Аналіз вмісту обмінного калію показав, що на контрольному варіанті за період досліджень його вміст в ґрунті істотно не змінювався і залишався у 2021 р. підвищеним (11,1 мг). На органічному фоні вміст калію відповідав високому рівню (13,2 мг) з перевищенням контролю на 2,1 мг/100 г ґрунту. У варіантах основного внесення N₃₀P₃₀K₃₀ та N₆₀P₆₀K₆₀ на фоні гною відмічено його істотне збільшення порівняно з

органічним фоном на 3,2 і 4,7 мг відповідно. Максимальним цей показник був на фоні гною + N₆₀P₆₀K₆₀ і змінювався від високого (17,5 мг) у 2001 р. до дуже високого (18,6 мг) у 2011 р. У 2021 р. вміст обмінного калію на підвищеному фоні зріс на 8,2 мг відносно показників 1991 р. У середньому за 1991–2021 рр. на контролі рівень калію в ґрунті достовірно не змінювався, тоді як на органо-мінеральних фонах він підвищився відповідно на 2,3 і 4,5 мг.

Аналіз даних урожайності за період

четвертої (2004–2012 рр.) та п'ятої (2013–2021 рр.) ротацій показав, що ефективність систем удобрення на посівах пшениці озимої суттєво залежала від погодних умов вегетаційного періоду, попередника та родючості ґрунту. Так, відносно ротацій на фоні без добрив за середнього вмісту в ґрунті фосфору та високого калію, рівень врожайності зерна підвищився після чорного пару – від 5,38 до 6,20 т/га (табл. 2), а після гороху на зерно – від 4,55 до 5,42 т/га (табл. 3).

Після чорного пару на удобрених фо-

Таблиця 2. Урожайність пшениці озимої після чорного пару залежно від тривалої дії системи удобрення в сівозміні, т/га

Роки	Фон живлення			Ефект дії добрив, +/-		% до контролю	
	К	О	ОМ ₃₀	О	ОМ ₃₀	О	ОМ ₃₀
Четверта ротація							
2004	6,44	6,08	6,13	- 0,36	- 0,31	94,4	95,2
2005	5,52	6,58	6,90	1,06	1,38	119,2	125,0
2006	0,70	0,62	0,94	- 0,08	0,24	88,6	134,3
2007	6,88	6,88	6,92	0,00	0,04	100	100,6
2008	7,47	6,80	7,14	- 0,67	- 0,33	91,0	95,6
2009	6,95	6,90	7,05	- 0,05	0,10	99,3	101,4
2010	3,54	3,73	3,47	0,19	- 0,07	105,0	98,0
2011	6,76	7,23	7,31	0,47	0,55	107,0	108,1
2012	4,18	4,76	4,99	0,58	0,81	113,9	119,4
Середнє	5,38	5,51	5,65	0,13	0,27	102,4	105,0
П'ята ротація							
2013	5,56	6,82	6,78	1,26	1,22	122,7	121,9
2014	6,81	7,23	7,46	0,48	0,65	106,2	109,5
2015	6,89	7,18	7,27	0,29	0,38	104,2	105,5
2016	5,10	5,93	6,60	0,83	1,50	116,3	129,4
2017	5,30	6,29	7,18	0,99	1,88	118,7	135,5
2018	5,80	6,79	7,04	0,99	1,24	117,1	121,4
2019	6,42	6,63	7,03	0,21	0,61	103,3	109,5
2020	6,94	7,26	7,75	0,32	0,81	104,6	111,7
2021	6,98	7,34	8,17	0,36	1,19	105,2	117,0
Середнє	6,20	6,83	7,25	0,64	1,05	110,3	116,9
Середнє за 2004–2021	5,79	6,17	6,45	0,38	0,66	106,4	111,0

НІР₀₅, т/га: фон живлення – 0,19; рік – 0,24; взаємодія – 0,36

Примітка: * К – контроль (без добрив); О – органічний фон; ОМ₃₀ – органо-мінеральний фон (післядія гною + N₃₀P₃₀K₃₀).

нах живлення за високого рівня вмісту рухомого фосфору та обмінного калію приріст зерна протягом п'ятої ротації був істотно

вищим (0,64–1,05 т/га) порівняно з четвертою ротацією (0,13–0,27 т/га), що пояснюємо більшим співвідношенням років зі сприятли-

Таблиця 3. Урожайність пшениці озимої після гороху на зерно залежно від тривалої дії системи удобрення в сівозміні, т/га

Роки	Фон живлення *			Ефект дії добрив, т/га		% до контролю	
	К	О	ОМ ₃₀	О	ОМ ₃₀	О	ОМ ₃₀
Четверта ротація							
2004	5,15	5,65	5,78	0,50	0,63	109,7	112,2
2005	6,49	7,40	7,35	0,91	0,86	114,0	113,3
2006	0,28	0,38	0,63	0,10	0,35	135,7	225,0
2007	5,80	6,05	7,37	0,25	1,57	104,3	127,1
2008	7,94	8,27	8,36	0,33	0,42	104,2	105,3
2009	3,53	4,57	6,35	1,04	2,82	129,5	179,9
2010	2,86	2,87	3,15	0,01	0,29	100,3	110,1
2011	4,95	5,88	6,81	0,93	1,86	118,8	137,6
2012	3,91	4,12	4,04	0,21	0,13	105,4	103,3
Середнє	4,55	5,02	5,54	0,47	0,99	110,3	121,8
П'ята ротація							
2013	5,13	5,82	6,24	0,69	1,11	113,5	121,6
2014	6,65	7,19	7,59	0,54	0,94	108,1	114,1
2015	7,03	7,11	7,25	0,08	0,22	101,1	103,1
2016	3,89	4,32	4,96	0,43	1,07	111,0	127,5
2017	4,45	5,04	6,41	0,59	1,96	113,2	144,0
2018	3,16	4,62	5,39	1,46	2,23	146,2	170,6
2019	5,37	5,77	6,37	0,40	1,00	107,4	118,6
2020	6,54	6,82	7,40	0,28	0,86	104,3	113,1
2021	6,60	7,24	7,64	0,64	1,04	109,7	115,8
Середнє	5,42	5,99	6,58	0,57	1,16	110,5	121,4
Середнє за 2004–2021	4,98	5,50	6,06	0,52	1,07	110,4	121,6

НР₀₅, т/га: фон живлення – 0,16; рік – 0,24; взаємодія – 0,41.

*Примітка: К – контроль (без добрив); О – органічний фон; ОМ₃₀ – органо-мінеральний фон (післядія гною + N₃₀P₃₀K₃₀)

вими погодними умовами та сортовою реакцією.

Так, у 2004 р. та 2006–2008 рр. через зливи дощі та вилягання посівів у період формування та наливу зерна урожайність на варіантах удобрення була на рівні контрольного варіанту або істотно меншою. Аналогічну залежність урожайності, але з вищим її рівнем у варіантах удобрення одержано після попередника горох на зерно, де вилягання рослин не спостерігали.

На органічному фоні та за додаткового внесення N₃₀P₃₀K₃₀ у середньому за четверту ротацію надбавки врожаю зерна стано-

вили відповідно 0,47 т/га та 0,99 т/га, а за п'яту – 0,57 та 1,16 т/га. При цьому істотна різниця в урожайності між варіантами була не завжди, а тому не в усі роки ефективним було внесення повного мінерального добрива на фоні гною.

У середньому за двома ротаціями (2004–2021 рр.), приріст зерна на органічному фоні та за додаткового внесення N₃₀P₃₀K₃₀ становив після чорного пару 0,38 та 0,66 т/га, після гороху – 0,52 і 1,07 т/га за врожайності на контролі – 5,79 та 4,98 т/га відповідно.

Отже, якщо урожайність зерна на фоні без добрив прийняти за 100 %, то за ви-

рощування після попередника чорний пар порівняльна ефективність органічної системи по ротаціях складала 102,4 та 110,3 % або в середньому 106,4 % за увесь період досліджень; за органо-мінеральної системи цей показник був вищим відповідно на 2,6 та 6,6 % і склав у середньому 111,0 %. Після гороху на зерно ефект від добрив протягом обох ротацій був істотно вищий і склав на органічному фоні 110,4 %, а на органо-мінеральному – 121,6 %, що відповідно на 4,0 та 10,6 % вище порівняно з попередником чорний пар. При цьому, після обох попередників відмічали закономірності в зростанні рівня врожайності під впливом добрив у кінці п'ятої ротації порівняно з четвертою.

Оскільки в системі живлення пшениці озимої найбільше значення належить мінеральному азоту, протягом 2015–2018 рр. вивчали ефективність прикореневого азотного підживлення в дозах N_{20} , N_{40} та N_{60} залежно від родючості ґрунту за фонами основного удобрення. Погодні умови в роки досліджень були посушливими восени та значною мірою різнилися протягом весняно-літнього періоду. Більш сприятливими для росту, розвитку й формування продуктивності рослин були умови вегетації 2014/15 і 2016/17 рр., менш сприятливими – 2015/16 і 2017/18 рр. Ефективність різних доз внесення азоту значною мірою залежала від стану посівів з осені та кількості опадів протягом вегетаційного періоду окремо взятого року.

За результатами досліджень 2015–2018 рр. встановлено істотне підвищення врожайності зерна пшениці озимої за рахунок основного удобрення та прикореневого внесення аміачної селітри у фазі кушіння (табл. 4). Так, після чорного пару на органічному та органо-мінеральному фоні (післядія гною + $N_{30}P_{30}K_{30}$) рівень урожайності зерна становив у середньому 6,55 і 7,02 т/га, що на 0,78 і 1,22 т/га вище контролю. Азотне підживлення посівів у дозах N_{20} , N_{40} та N_{60} на фоні без основного удобрення забезпечило приріст зерна відповідно 0,69; 0,89 та 0,96 т/га (12,0–16,6%) за врожайності на контролі 5,77 т/га. На фоні післядія гною + $N_{30}P_{30}K_{30}$ приріст склав відповідно 1,65; 1,99 і 2,10 т/га (28,6–36,4 %), що, порівняно з органічним фоном, було вище на 7,5–15,3 %. Найвищий рівень урожайності зерна на кон-

трольному варіанті одержано в 2015 р. – 6,89 т/га.

При цьому азотне підживлення посівів у дозах N_{20} , N_{40} та N_{60} на неудобреному фоні забезпечило надбавки зерна 0,38; 0,42 і 0,34 т/га, тоді як на органо-мінеральному фоні вони були вищими на 0,31; 0,53 і 0,79 т/га відповідно та достовірно різнилися за варіантами. Отже, після чорного пару найбільш ефективним було внесення дози N_{40} , яка на фоні без основного удобрення забезпечила підвищення врожайності на 0,89 т/га, а на органо-мінеральному – на 1,99 т/га. У середньому за чотири роки аналогічну залежність урожайності від азотного підживлення одержано після попередника горох на зерно, але з вищим її рівнем на органо-мінеральному фоні удобрення. Так, на фоні післядія гною приріст врожаю зерна становив 0,59 т/га, а за додаткового внесення $N_{30}P_{30}K_{30}$ – 1,37 т/га або 29,6 % до контролю. Азотне підживлення посівів у дозах N_{20} , N_{40} та N_{60} на сівозмінному фоні забезпечило приріст урожаю зерна – 0,42; 0,73 і 0,92 т/га (9,1–19,9 %), а на органо-мінеральному фоні – відповідно 1,74; 2,05 і 2,21 т/га (37,6–47,7 %). При цьому на удобреному фоні у варіантах азотного підживлення надбавки зерна були вищими відповідно на 0,37; 0,68 і 0,84 т/га або на 8,0–18,1 % порівняно з неудобраним фоном.

Найвищий рівень урожайності зерна одержано в 2015 р. (7,03 т/га), але надбавки зерна у варіантах азотного підживлення були найменшими і становили на неудобреному фоні 0,23–0,33 т/га, на удобреному – 0,13–0,56 т/га ($HP_{05}=0,18$ т/га). Найвищі надбавки зерна одержано в несприятливому 2016 р., що склали за дозами азоту відповідно 0,37; 0,82 і 1,12 т/га на фоні без добрив та 1,61; 2,13 і 2,37 т/га – за органо-мінерального удобрення. Тобто, порівняно з контролем у варіантах азотного підживлення аміачною селітрою на фоні післядія гною + $N_{30}P_{30}K_{30}$ одержано більш високі та достовірні надбавки врожаю зерна. Найбільш економічно ефективною для прикореневого підживлення слабких посівів була доза N_{60} .

У дослідях встановлено високу окупність азотних добрив зерном, яка значною мірою залежала від попередника, фону живлення та дози азотного підживлення. Так,

Таблиця 4. Урожайність пшениці озимої залежно від попередника та системи удобрення, т/га*

Варіант удобрення (В)	Загальна кількість добрив, д. р.	Роки досліджень				Середнє	Ефект дії добрив		Окупність 1 кг д.р. зерном, кг
		2015	2016	2017	2018		т/га	%	
попередник – чорний пар (А)									
Контроль	–	6,89	5,10	5,30	5,80	5,77	–	–	–
N ₂₀	20	7,27	5,68	6,85	6,04	6,46	0,69	12,0	34,5
N ₄₀	40	7,31	5,83	7,26	6,23	6,66	0,89	15,4	22,3
N ₆₀	60	7,23	5,99	7,50	6,17	6,73	0,96	16,6	16,0
Фон (гній)	90	7,18	5,93	6,29	6,79	6,55	0,78	13,5	8,7
Фон + N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	180	7,27	6,60	7,18	7,04	7,02	1,22	21,1	6,8
Фон + N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ + N ₂₀	200	7,58	6,87	7,91	7,33	7,42	1,65	28,6	8,3
Фон + N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ + N ₄₀	220	7,84	7,27	8,37	7,58	7,76	1,99	34,5	9,0
Фон + N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ + N ₆₀	240	8,02	7,38	8,55	7,52	7,87	2,10	36,4	8,8
попередник – горох на зерно									
Контроль	–	7,03	3,89	4,45	3,16	4,63	–	–	–
N ₂₀	20	7,26	4,26	5,12	3,55	5,05	0,42	9,1	21,0
N ₄₀	40	7,36	4,71	5,52	3,87	5,36	0,73	15,8	18,3
N ₆₀	60	7,32	5,01	5,86	4,02	5,55	0,92	19,9	15,3
Фон (гній)	90	6,96	5,01	4,62	4,29	5,22	0,59	12,7	6,5
Фон + N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	180	7,25	4,96	6,41	5,39	6,00	1,37	29,6	7,6
Фон + N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ + N ₂₀	200	7,16	5,50	7,12	5,71	6,37	1,74	37,6	8,7
Фон + N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ + N ₄₀	220	7,45	6,02	7,36	5,89	6,68	2,05	44,2	9,3
Фон + N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ + N ₆₀	240	7,59	6,26	7,58	5,92	6,84	2,21	47,7	9,2

НР₀₅, т/га для факторів:

А – попередник	0,14	0,13	0,11	0,12
В – добрива	0,18	0,21	0,24	0,19
АВ – взаємодія	0,32	0,36	0,30	0,24

Примітка * – у середньому за сортами Статна, Смуглянка, Епоха одеська.

після чорного пару на неудобреному фоні внесення аміачної селітри в дозах N₂₀, N₄₀, N₆₀ на 1 кг азоту одержано 34,5; 22,3 і 16,0 кг зерна, а після гороху – 21,0; 18,3 і 15,3 кг відповідно. Таку високу окупність азотних добрив пояснюємо швидкою дією азотних сполук після підживлення недостатньо розвинених та зріджених посівів. Аналогічна закономірність спостерігалася у варіантах зазначених доз азоту на фоні післядії гною + N₃₀P₃₀K₃₀, але відмічалася суттєве зниження їх окупності зерном за підвищення загальної дози добрив. Так, окупність 1 кг NPK приростом урожаю зерна відповідно до доз внесення азоту становила після чорного пару 8,3–9,0–8,8 кг, після гороху – 8,7–9,3–9,2 кг.

Отже, після попередника чорний пар високу врожайність пшениці озимої можна отримати за рахунок дотримання науково обґрунтованого чергування культур у сівозміні,

а після гороху на зерно – шляхом застосування органічної та органо-мінеральної систем удобрення; економічно доцільною дозою мінеральних добрив за органо-мінеральної системи основного удобрення є внесення N₃₀P₃₀K₃₀.

Висновки. Установлено, що дотримання сівозміни протягом 1991–2001 рр. на фоні систематичного органо-мінерального удобрення зумовило збереження та підвищення родючості ґрунту. На сівозмінному фоні (без добрив) уміст легкогідролізованого азоту був низький, а рухомого фосфору та обмінного калію – середній та підвищений, що забезпечило урожайність 5,79 т/га після чорного пару та 4,98 т/га – після гороху. На фоні гною + N₃₀P₃₀K₃₀ за високого вмісту в ґрунті фосфору та калію приріст зерна після чорного пару склав 0,66 т/га, а після гороху – 1,07 т/га. Додаткове прикореневе азотне під-

живлення у фазі куцїння забезпечило приріст зерна після чорного пару 28,6–36,4 %, а після гороху – 37,6–47,7 %. Найвищу окупність азотних добрив зерном одержано за підживлення посівів на неудобреному фоні –

від 15,3 до 34,5 кг зерна на 1 кг азоту. На фоні гною + $N_{30}P_{30}K_{30}$ окупність 1 кг NPK зерном залежно від попередника склала 8,3–9,2 кг.

Використана література

1. Городній М. М. Агрохімія: підручник. 4-те вид., переробл. та допов. Київ: Арістей, 2008. 936 с.
2. Полеско Ю. А., Бражник С. П., Колесникова З. М. Влияние минеральных удобрений на мобилизацию азота в почве и использование его растениями. *Почвоведение*. 1998. № 11. С. 69–73.
3. Минеев В. Г. Агрохимия и биосфера. Москва: Колос, 1984. 247 с.
4. Нетіс І. Т. Пшениця озима на півдні України: монографія. Херсон: Олді-плюс, 2011. 460 с.
5. Черенков А. І., Гасанова І. І., Костира І. В., Остапенко М. А., Білосор І. В.. Вплив попередників, мінеральних добрив та способів сівби на урожайність і якість зерна пшениці озимої в південному Степу України. *Зернові культури*. 2018. Т. 2. № 2. С. 237–244. DOI: <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0031>.
6. Бойко П. І., Коваленко Н. П., Корецький О. Є. Перспективи вирощування пшениці озимої у короткоротаційних сівозмінах в умовах недостатнього зволоження. *Бюлетень Інституту зернового господарства УААН*. 2010. № 39. С. 7–11.
7. Десятник Л. М., Шевченко М. С., Швець Н. В., Шевченко С. М. Ефективність використання добрив у сівозміні залежно від способів основного обробітку ґрунту. *Науковий журнал Інституту зернових культур "Зернові культури"*. 2018. Т. 2. № 3. С. 324–329. DOI: [10.31867/2523-4544/0044](https://doi.org/10.31867/2523-4544/0044).
8. Господаренко Г. М., Черно О. Д. Якість зерна пшениці озимої за тривалого застосування добрив у польовій сівозміні. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2016. № 1. С. 11–15.
9. Hlisnikovský L., Menšík L., Kunzová E. The development of winter wheat yield and quality under different fertilizer regimes and soil-climatic conditions in the Czech Republic. *Agronomy*. 2020. 10(8). 1160.
10. Wang L., Li Q., Coulter J. A., Xie J., Luo Z., Zhang R., ... Li L. Winter wheat yield and water use efficiency response to organic fertilization in northern China: A meta-analysis. *Agricultural Water Management*. 2020. 229. 105934.
11. Omara P., Aula L., Dhillon J. S., Oyebiyi F., Eickhoff E. M., Nambi E., ... Raun W. Variability in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) grain yield response to nitrogen fertilization in long-term experiments. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2020. 51(3). 403–412.
12. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд. доп. и перераб. Москва: Агропромиздат, 1985. 352 с.
13. Носко Б. С. Фосфатний режим ґрунтів і ефективність добрив. Київ: Урожай, 1994. 239 с.

References

1. Horodnii, M. M. (2008). *Ahrokhimiia [Agrochemistry]: a textbook (4-th ed., rev.)*. Kyiv: Aristei. [in Ukrainian].
2. Polesko, Yu. A., Brazhnik, S. P., Kolesnikova, Z. M. (1998). Vliyanie mineralnykh udobreniy na mobilizatsiyu azota v pochve i ispolzovaniye yego rasteniyami [The effect of mineral fertilizers on the mobilization of nitrogen in the soil and its use by plants]. *Pochvovedenie* [Soil science], 11. 69–73. [in Russian].
3. Mineyev, V. G. (1984). *Agrokhimiya i biosfera* [Agrochemistry and biosphere]. Moskva: Kolos. [in Russian].
4. Netis, I. T. (2011). *Pshenytsia ozyma na pivdni Ukrainy* [Winter wheat in the south of Ukraine]: monograph. Kherson: Oldi-plus. [in Ukrainian].
5. Cherenkov, A. V., Gasanova, I. I., Kostyria, I. V., Ostapenko, M. A., Bilozor, I. V. (2018). Vplyv poperednykiv, mineralnykh dobrov ta sposobiv sivby na urozhainist i yakist zerna pshenytsi ozymoi v pivdennomu Stepu Ukrainy [Influence of predecessors, mineral fertilizers and sowing methods on yield and quality of winter wheat grain in the Southern Steppe of Ukraine]. *Zernovi kultury* [Grain Crops], 2 (2). 237–244. DOI: <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0031>. [in Ukrainian].
6. Boiko, P. I., Kovalenko, N. P., Koretskyi, O. Ye. (2010). Perspektivy vyroshchuvannya pshenytsi ozymoi u korotkorotatsiynnykh sivozminakh v umovakh nedostatnioho zvolozhennia [Prospects for growing winter wheat in short crop rotations under conditions of insufficient moisture]. *Biuleten Instytutu zernovoho hospodarstva UAAN* [Bulletin of the Institute of Grain Management of the Ukrainian Academy of Sciences], 39. 7–11. [in Ukrainian].
7. Desiatnyk, L. M., Shevchenko, M. S., Shvets, N. V., Shevchenko, S. M. (2018). Efektyvnist vykorystannia dobrov u sivozmini zalezno vid sposobiv osnovnoho obrobittu ґruntu [Efficiency of fertilizer use in crop rotation depending on the methods of main soil cultivation]. *Naukovyi zhurnal Instytutu zernovykh kultur "Zernovi kultury"* [Scientific journal of the Institute of Grain Crops "Grain Crops"], 2, 3. 324–329. DOI: <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0044>. [in Ukrainian].
8. Hospodarenko, H. M., Cherny, O. D. (2016). Yakist zerna pshenytsi ozymoi za tryvaloho zastosuвання dobrov u polovii sivozmini [Grain quality of winter wheat grain in short crop rotations under long-term use of fertilizers]. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2016. № 1. С. 11–15.

- ter wheat during long-term use of fertilizers in field crop rotation]. *Visnyk Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva* [Bulletin of the Uman National University of Horticulture], 1, 11–15. [in Ukrainian].
9. Hlisnikovský, L., Menšík, L., Kunzová, E. (2020). The development of winter wheat yield and quality under different fertilizer regimes and soil-climatic conditions in the Czech Republic. *Agronomy*, 10 (8). 1160.
 10. Wang, L., Li, Q., Coulter, J. A., Xie, J., Luo, Z., Zhang, R., Li, L. (2020). Winter wheat yield and water use efficiency response to organic fertilization in northern China: A meta-analysis. *Agricultural Water Management*, 229. 105934.
 11. Omara, P., Aula, L., Dhillon, J. S., Oyebiyi, F., Eickhoff, E. M., Nambi, E., Raun, W. (2020). Variability in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) grain yield response to nitrogen fertilization in long-term experiments. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51 (3). 403–412.
 12. Dospekhov, B. A. (1985). Metodika polevoho opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy) [Methodology of field experience with the basics of statistical processing of research results] (5-th ed., rev.). Moscow: Ahropromizdat. [in Russian].
 13. Nosko, B. S. (1994). Fosfatnyi rezhym gruntiv i efektyvnist dobrovy [Phosphate mode of soils and fertilizer efficiency]. Kyiv: Urozhai. [in Ukrainian].

UDC 631.816.11:633.1

Popov S. I., Hutianskyi R. A., Kuzmenko N. V., Avramenko S. V. Yield of winter wheat depending on the long-term application of fertilizers in crop rotation and soil fertility.

Grain Crops. 2023. 7 (1). 153–161.

Plant Production Institute named after V. Ya. Yuriev of NAAS, 142 Heroiv Kharkova Ave., Kharkiv, Ukraine, 61060

Topicality. For agricultural enterprises that implement intensive technologies, the issue of efficient utilisation of nutrients from organic and mineral fertilisers, depending on nutrient content in the soil, is relevant. At present, the high probability of a shortfall in the forecasted yields in most farms is caused by a significant difference between the required and actual dose of fertiliser application. In this regard, the issue of optimising the fertiliser application in winter wheat cultivation is becoming a priority. Given the current understanding of this issue, we should investigate the impact of manure, complete mineral fertilisation and nitrogen feeding on soil fertility and grain yields, depending on the crop placement in the crop rotation.

Purpose. To determine the impact of long-term application of different fertilisation systems on soil fertility and yield formation patterns of modern winter wheat varieties. **Methods.** Field, measuring and weighting, and statistical methods were used. **Results.** Over 30 years of research in the variants with the basal application of $N_{30}P_{30}K_{30}$ and $N_{60}P_{60}K_{60}$ on the background of manure, it was found that the content of exchangeable potassium (16.4–17.9 mg/100 g of soil) and mobile phosphorus (18.9–20.2 mg) in the soil corresponded to a high and very high level, and easily hydrolysed nitrogen (16.3–17.6 mg) – to a low and average level. In 2004–2021, on average, on an organic background with additional application of $N_{30}P_{30}K_{30}$, the increase in grain yield after black fallow was 0.38 and 0.66 t/ha, and after peas – 0.52 and 1.07 t/ha, respectively. Nitrogen feeding in rates of N_{20} , N_{40} and N_{60} on the non-fertilised background after black fallow provided an increase in grain yield of 12.0–16.6 %, and on the background of manure with $N_{30}P_{30}K_{30}$ – 28.6–36.4 %. After peas for grain as a predecessor, the increase in grain yield was 9.1–19.9 % and 37.6–47.7 %, respectively. When fertilising crops on an non-fertilised background, the highest payback of nitrogen fertilisers on grain was from 15.3 to 34.5 kg of grain per 1 kg of nitrogen. On the background of manure with $N_{30}P_{30}K_{30}$, the payback of 1 kg of NPK on grain, depending on the predecessor, was 8.3–9.2 kg. **Conclusions.** In 1991–2001, soil fertility was preserved and improved by maintaining crop rotation against the background of systematic organic-mineral fertilisation. High winter wheat yield after black fallow is possible to obtain by following a scientific-based crop rotation, and after peas – by using an organic-mineral fertilisation system.

Key words: crop rotation, soil fertility, nutritional background, nitrogen feeding, yield, efficiency, payback