

УДК 631.811

© 2020

БАЛАНС ФОСФОРУ ЗА РІЗНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ В АГРОЦЕНОЗІ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЛІСОСТЕПУ

О.В. Демиденко

доктор сільськогосподарських наук

Черкаська державна сільськогосподарська дослідна станція

ННЦ «Інститут землеробства НААН»

вул. Докучаєва, 13, с. Холодниське Смілянського р-ну Черкаської обл., 20731, Україна

e-mail: smilachiapv@ukr.net

ORCID: 0000-0002-5334-1154

Надійшла 12.03.2020

Мета. Дати порівняльну оцінку балансу фосфору та встановити зв'язок із продуктивністю зернових культур у короткоротаційній зерно-просапній сівозміні за довгострокового застосування органічної та органо-мінеральної систем удобрення для умов Центрального Лісостепу України. Побічну продукцію сільськогосподарських культур використано як органічні добрива при насиченні сівозміні зернобобовими культурами. **Методи.** Дослідження проведено в стаціонарному польовому досліді Черкаської державної сільськогосподарської дослідної станції ННЦ «Інститут землеробства НААН» у 2011 – 2019 рр. на площі 0,75 га на 5-ти полях із розміром посівної ділянки 30 м², із 4-разовою повторністю. Застосовували польовий, лабораторний, порівняльно-розрахунковий і математичні методи. **Результати.** За органічної системи удобрення між виходом к.о. і основної продукції та швидкістю обороту і ємністю балансу P_2O_5 виявлено сильний кореляційний зв'язок: у першому випадку обернений ($R = -0,65 - 0,69 \pm 0,02$; $R^2 = 0,42 - 0,48$), у другому – прямий ($R = 0,67 - 0,85 \pm 0,02$; $R^2 = 0,45 - 0,72$). Порівняно з органо-мінеральною системою удобрення кореляційні зв'язки дещо послаблені, а на одиницю виходу к.о. і основної продукції припадає в 1,78 і 2,11 рази менше зростання ємності балансу P_2O_5 . Між ємністю балансу P_2O_5 і ємністю балансу N і CO_2 встановлено прямий кореляційний зв'язок на середньому рівні: $R = 0,53 \pm 0,02$; $R^2 = 0,23$ для N та $R = 0,90 \pm 0,03$; $R^2 = 0,86$ — для CO_2 , а на одиницю зростання ємності балансу фосфору припадає 7,62 кг N і 0,79 т CO_2 , що значно вище порівняно з органо-мінеральною системою удобрення. **Висновки.** Оцінка динаміки врожайності зернових культур за 2011 – 2019 рр. показала, що за органічної системи удобрення зростаючі тренди виявлено в пшениці озимої та ячменю. За органо-мінеральної системи коефіцієнти регресії при змінній степеневій функції за вирощування ячменю були вищими в 1,5 – 1,8 рази, пшениці озимої — наближались один до одного. Урожайність зернових за органічної і органо-мінеральної систем вирощування була спадною, за органічної спадність тренду була в 1,9 рази меншою.

Ключові слова: органічна система удобрення, органо-мінеральна система удобрення, обіг фосфору, інтенсивність балансу, ємність балансу, пшениця озима, ячмінь ярий, кукурудза.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202005-03>

Колообіг фосфору в агроценозах за різних систем удобрення та різних рівнів інтенсивності має певну спрямованість, динамізм, а також стабільність і властивий йому конкретний стан. Він може бути оцінений кількісно за допомогою балансу фосфору — своєрідної системи ідентифікації, що вказує на особливості та заходи, потрібні для стабілізації і нормального функціонування колообігу фосфору за різних систем удобрення [1–3]. До пріоритетних макроелементів, баланс яких необхідно визначати, належить нарівні з органічним вуглецем та азотом ще й фосфор [4, 5]. Фосфор є одним із ключових елементів мінерального живлення сільськогосподарських культур, який відіграє важливу і центральну роль у їх метаболізмі [6–10]. Створюючи енергетичну основу для функціонування рослинних клітин, він входить до складу нуклеїнових кислот і нуклеотидів, ліпідів мембран, ферментів і проміжних продуктів фотосинтетичного та дихального циклів, а тому його засвоєння й метаболізм визначально важливі для росту і розвитку рослин. Хоча початкові етапи є критичними щодо фосфору, важливо оптимально забезпечити ним рослини впродовж усього вегетаційного періоду за різних систем удобрення.

Фосфор за своїми хімічними властивостями складно взаємодіє з компонентами ґрунту, що не дає можливості об'єктивно оцінити забезпеченість ним для оптимального росту і розвитку рослин за різних систем удобрення. Доступність унесених фосфатів для рослин визначається розчинністю продуктів реакції добрив із ґрунтом. Дуже важливо підтримувати рівень доступного для рослин фосфору, адже його дефіцит призводить до зниження врожайності сільськогосподарських культур [11–13]. Під впливом інтенсифікації виробництва, росту врожайності сільськогосподарських культур і посилення деградаційних процесів ґрунту, що відбулися у перших десятиліттях ХХІ ст., сформувались інші агроекологічні умови, які потребують для своєї оцінки нових критеріїв і перегляду наявних. Вивченню впливу систем удобрення на баланс фосфору в агроценозах сівозмін присвячено чимало наукових праць [14–21]. Але не розкрито значення особливостей балансу фосфору

за органічної системи удобрення під час заміни ґною на побічну продукцію, відсутності багаторічних трав у сівозміні та заміни їх на горох і сою.

На сучасному етапі становлення органічного землеробства набуває актуальності питання формування балансу фосфору та його вплив на продуктивність культур короткоротаційної сівозміни за органічної системи удобрення з використанням побічної продукції як органічного удобрення і заміною багаторічних трав на зернобобові культури. Особливості формування доцільно вивчати порівняно з балансом фосфору за орґано-мінеральної системи удобрення, що дає змогу встановити причини зниження продуктивності культур за органічної системи удобрення в умовах Центрального Лісостепу України. На нашу думку, це питання залишається не вивченим, що стримує впровадження органічного землеробства в сучасних умовах господарювання.

Мета досліджень — дати порівняльну оцінку балансу фосфору та встановити зв'язок із продуктивністю зернових культур у короткоротаційній зерно-просапній сівозміні за довгострокового застосування органічної та орґано-мінеральної систем удобрення для умов Центрального Лісостепу України. Побічну продукцію сільськогосподарських культур використано як органічні добрива при насиченні сівозміни зернобобовими культурами.

Матеріали та методи досліджень. У процесі виконання роботи застосовували загальноприйняті методи досліджень: польовий, лабораторний, порівняльно-розрахунковий і математичні.

Дослідження проведено в стаціонарному польовому досліді Черкаської державної сільськогосподарської дослідної станції ННЦ «Інститут землеробства НААН», закладеному в 2010 р. на площі 0,75 га. Кількість полів — 5 із розміром посівної ділянки 30 м². Повторність — 4-разова. Ґрунт — чорнозем реґрадований на карбонатному лесі. В орному шарі вміст гумусу — 2,76–3,22% за Тюріним, сума поглинутих основ — 24,5–28,1 мг-екв./100 г ґрунту, гідролітична кислотність — 1,99–2,19 мг-екв./100 г ґрунту, рН сольової витяжки — 6,0–7,1. Ступінь насичення основами — 92,8–93,3%, уміст

рухомих форм фосфору (за Труогом) — 9 мг/100 г ґрунту, обмінного калію (за Бровкіною) — 12 мг/100 г ґрунту.

Система обробітку ґрунту у сівозміні: поверхневий обробіток дисковими знаряддями та оранка на технологічну глибину під конкретну культуру в сівозміні згідно із зональною рекомендацією.

Структура сівозміни: 60% — зернові, 40% — зернобобові культури (горох — 20%, соя — 20%). Чергування культур у сівозміні: горох — пшениця озима — кукурудза — соя — ячмінь. У досліді вивчали 2 системи удобрення:

- органомінеральна система удобрення (контрольний варіант) передбачає такі дози добрив: горох — $N_{30}P_{90}K_{90}$; пшениця озима — $N_{30}P_{90}K_{90} + N_{50} + N_{40}$; соя — $N_{20}P_{60}K_{60} + N_{40}$; кукурудза — $N_{20}P_{90}K_{90} + N_{100}$; ячмінь ярий — $N_{20}P_{80}K_{80} + N_{40}$. Як органічне удобрення — побічна продукція культур сівозміни в середньому 7–8 т/га + $N_{80}P_{75}K_{65}$;

- органічна система: без мінеральних добрив, із використанням побічної продукції попередника як органічного добрива (5–6 т/га сівозміни), з обробленням зерна азотофіксувальними, фосформобілізувальними біологічними препаратами, регуляторами росту, гуматами та підживленням гуматами, регулятором росту рослин або біопрепаратом. Органічна система удобрення показана у табл. 1.

Балансові розрахунки фосфору проводили згідно з удосконаленою методикою [22] розрахунку балансу елементів живлення

у проєктах внутрішньогосподарського землеустрою з урахуванням вносу фосфору основною культурою. Час обігу фосфору розрахований як відношення запасу фосфору в загальній фітомасі до споживання за вегетацію [23]. Узагальнено результати досліджень за допомогою програми «Statistica-10» із використанням непараметричної статистики та кореляційного аналізу.

Результати досліджень. Загальна статистична модель умісту фосфору (P_2O_5) у структурі загальної фітомаси за органомінеральної та органічної систем удобрення показала, що інтервальний уміст становить $\Delta_{\max-\min}=20,7$ кг/га за середнього вмісту 33,4 кг/га. Медіанне значення вмісту P_2O_5 наближене до середнього (34,2 кг/га), а нормований інтервал значень становить $\Delta_{L_{0,75}-L_{0,25}}=7,6$ кг/га. Уміст фосфору в загальній фітомасі в середньому становить 46,8 кг/га за інтервального розмаху 20,1 кг/га. Уміст P_2O_5 за медіанного значення дещо відхилився від середнього (48,1 кг/га), нормований інтервал становив $L_{0,75}-L_{0,25}=6,5$ кг/га.

Уміст P_2O_5 за медіанного значення більшою мірою тяжів до верхнього нормованого значення, що свідчить про тенденцію зростання P_2O_5 у загальній фітомасі. Уміст P_2O_5 основної продукції у загальній фітомасі за середнім і медіанним значеннями становить 71–72%. У побічній продукції та коренях сконцентровано 28–29% P_2O_5 від загального вмісту у фітомасі: інтервальний розмах становить $\Delta_{\max-\min}=6,5$ кг/га, нормований інтервал — $\Delta_{L_{0,75}-L_{0,25}}=3,7$ кг/га.

1. Органічна система удобрення у 5-пільній зерно-просапній сівозміні

Культура сівозміни	Надходження NPK, кг/га									
	інокуляція	із побічною продукцією			по соломі на добриво			підживлення біопрепаратом		
		NPK	N	P	K	N	P	K	N	P
Горох	50/50/50	22	8	47	87	57	28	50	50	50
Пшениця озима	50/50/50	31	7	42	44	68	38	50	50	50
Кукурудза	50/50/50	45	14	92	25	46	32	50	50	50
Соя	50/50/50	33	10	64	33	85	41	50	50	50
Ячмінь	50/50/50	27	3	31	37	42	29	50	50	50
У сівозміні	—	—	—	—	45,0	60,0	35,0	—	—	—

Коефіцієнти варіації параметрів структуризації загальної фітомаси змінювалися у допустимих межах — $\text{Coef. Var.} = 21,9\%$.

Застосування органо-мінеральної системи удобрення сприяє зростанню середнього і медіанного вмісту P_2O_5 в основній продукції на 9–10%, або на 3,4–3,9 кг/га відповідно до загальної моделі. Інтервальний розмах умісту звужується за рахунок зростання мінімального значення вмісту на 9,4 кг/га. Нормований інтервал умісту за органо-мінеральної системи удобрення звужується за рахунок зростання значень верхнього ($L_{0,75}$) і нижнього ($L_{0,25}$) типового значень на 3,2–5,4 кг/га. Середня вага загальної фітомаси щодо значень загальної моделі зросла на 5,9 кг/га, вага за медіанного значення — на 6,4 кг/га. При цьому інтервальний і нормований розмах звужилися щодо загальної моделі в 1,24 і 1,39 раза. Коефіцієнт варіації параметрів складових загальної фітомаси становив 10,3–10,9% (табл. 2).

За органічної системи удобрення середнє і медіанне накопичення P_2O_5 в основній

продукції щодо інтенсивної системи удобрення знизилося в 1,22–1,27 раза, а інтервальний розмах накопичення P_2O_5 був на рівні інтенсивної системи удобрення при більш низькому мінімальному і максимальному рівнях: 28,1–33,4 проти 29,6–40,9 кг/га. Аналогічно формувався нормований розмах накопичення P_2O_5 в основній продукції: верхнє і нижнє типове накопичення були нижчими в 1,05 і 1,22 раза за органічної системи удобрення. Якщо за органо-мінеральної системи удобрення значення медіани тяжіло до верхнього нормованого значення, то за органічної, навпаки, — до нижнього нормованого значення, що свідчить про стриманість накопичення P_2O_5 в основній продукції (табл. 2). Середній медіанний запас P_2O_5 у загальній фітомасі за органічної системи удобрення був нижчим у 1,20 і 1,35 раза щодо органо-мінеральної системи удобрення. Інтервальний і нормований розмах запасу P_2O_5 був вужчим щодо органо-мінеральної системи удобрення. Коефіцієнти варіації були у межах 8,97–12,5%, що свідчить

2. Статистичні параметри вмісту фосфору у структурі фітомаси короткочасної сівозміни за різних систем удобрення (2010–2019 рр.)

Статистичні параметри		P_2O_5 (т/га) в			
		основній продукції	побічній продукції	коренях	фітомасі
<i>Органо-мінеральна система удобрення (контроль)</i>					
*Параметр	Середня	37,1	15,1	0,26	52,7
	min	29,6	11,6	0,21	41,5
	max	40,9	17,0	0,29	57,7
**Квантелі параметра	med _{0,50}	38,1	15,9	0,28	54,5
	L _{0,25}	34,9	14,1	0,25	49,4
	L _{0,75}	40,3	16,4	0,28	57,3
***Coef. Var., %		10,6	12,0	10,3	10,9
<i>Органічна система удобрення</i>					
*Параметр	Середня	30,5	13,0	0,22	43,9
	min	25,2	11,7	0,19	40,2
	max	35,3	16,1	0,25	50,9
**Квантелі параметра	med _{0,50}	30,1	12,2	0,21	42,5
	L _{0,25}	28,1	11,8	0,20	40,9
	L _{0,75}	33,4	14,0	0,23	46,7
*** Coef. Var., %		11,7	12,5	9,63	8,97
Примітки: *параметр max–min — амплітудний розмах; **L _{0,75} –L _{0,25} — квантельний, або нормований розмах; ***Coef. Var., % — коефіцієнт варіації.					

про стабілізацію процесу накопичення P_2O_5 у структурних елементах фітомаси.

За органо-мінеральної системи удобрення середнє надходження фосфору за усіма статтями становило 90,5 кг/га за амплітудного розмаху $\Delta_{\max-\min}=5,6$ кг/га. Надходження за медіаною було на рівні середнього значення (91 кг/га), а нормований інтервальний розмах становив $\Delta_{L_{0,75}-0,25}=2,4$ кг/га, що свідчить про стабільність у часі накопичення P_2O_5 у балансовому обігу фосфору в сівозміні.

Надходження P_2O_5 за рахунок побічної, надземної і кореневої фітомаси було на рівні 17–18% від загального надходження за середнього та медіанного значень і становило 15,6–16,3 кг/га. Величина надходження P_2O_5 за рахунок зазначених статей за медіаною тяжіло до верхнього нормованого значення, що свідчить про зростаючий тренд статті надходження P_2O_5 .

Баланс P_2O_5 за середнім і медіанним значеннями був додатним на рівні +17,4–17,5 кг/га. Інтервальний і нормований розмах балансу мали звужений характер, що

свідчить про стабільність балансу P_2O_5 у сівозміні за органо-мінеральної системи удобрення. Ємність балансу за органо-мінеральної системи удобрення становила 164–165 кг/га, а інтервальний амплітудний і нормований інтервал значень — $\Delta_{\max-\min}=16$ кг/га та $\Delta_{L_{0,75}-0,25}=9$ кг/га. Коефіцієнт варіації перебував на рівні $\text{Coef. Var.}=3,82\%$, що свідчить про стабільність ємності балансу за роки проведення досліджень. Швидкість обороту P_2O_5 , яка визначалася відношенням умісту P_2O_5 у загальній біомасі до витрати P_2O_5 у вегетаційний період (В), була $V<1$, що свідчить про високий рівень обігу. Амплітудне і нормоване інтервальні значення швидкості обороту P_2O_5 становили $\Delta_{\max-\min}=0,13$ та $\Delta_{L_{0,75}-0,25}=0,05$ кг/га, що свідчить про інтенсивний обіг P_2O_5 за низького значення коефіцієнта варіації ($\text{Coef. Var.}<10$). Значення інтенсивності балансу перевищувало 100%, що підтверджує висновок про високий рівень обігу P_2O_5 у короткочасній сівозміні впродовж періоду досліджень (табл. 3).

3. Статистичні параметри балансу фосфору короткочасної сівозміни за різних систем удобрення у 2010–2019 рр.

Статистичні параметри		Баланс P_2O_5 , кг	Баланс P_2O_5 , кг/га	Інтенсивність балансу P_2O_5 , %	Швидкість обігу, P_2O_5 , В	Ємність балансу, P_2O_5 , кг
<i>Органо-мінеральна система удобрення (контроль)</i>						
*Параметр	Середня	+17,7	+3,54	124	0,71	164
	min	+19,4	+3,88	129	0,62	153
	max	+14,1	+2,82	118	0,75	169
**Квантелі параметра	med _{0,50}	+17,4	+3,48	123	0,73	165
	L _{0,25}	+19,1	+3,82	127	0,69	159
	L _{0,75}	+14,9	+2,98	114	0,74	168
***Coef. Var., %		13,4	13,4	3,82	6,16	3,82
<i>Органічна система удобрення</i>						
*Параметр	Середня	–16,6	–3,32	46,0	1,44	44,4
	min	–11,0	–2,20	56,0	1,39	39,0
	max	–19,0	–3,80	47,0	1,45	53,0
**Квантелі параметра	med _{0,50}	–18,0	–3,60	42,0	1,42	43,0
	L _{0,25}	–16,0	–3,20	44,0	1,40	41,0
	L _{0,75}	–18,2	–3,64	45,2	1,43	48,0
*** Coef. Var., %		23,7	23,0	18,8	5,9	8,6
Примітки: *параметр max–min — амплітудний розмах; **L _{0,75} –L _{0,25} — квантельний, або нормований розмах; ***Coef. Var., % — коефіцієнт варіації.						

За органічної системи удобрення надходження P_2O_5 за усіма статтями балансу було меншим у 6,5 раза за середнім значенням і у 7,2 раза — за медіанним значенням. Амплітудний розмах становив 4,4 кг/га за абсолютних значень відхилення у 7,2–7,3 раза менших порівняно з контрольним варіантом. Винос P_2O_5 основною продукцією був меншим у 2,39–2,45 раза. Граничні межі інтервального розмаху і границь нормованих значень виносу P_2O_5 були у 2,16–2,67 та 2,30–2,45 раза меншими порівняно з органо-мінеральною системою удобрення, що вплинуло на рівень балансу P_2O_5 , який виявився від'ємним і характеризувався інтенсивністю балансу <100% і не перевищував 50%. Ємність балансу за органічної системи удобрення була меншою у 3,46–3,82 раза, як й інтервальні амплітудні та нормовані типові його значення. Швидкість обігу P_2O_5 була в 1,94–2,05 раза меншою, а величина В була вищою за одиницю: $B \geq 1,33$ –1,45, що свідчить про низьку інтенсивність обігу P_2O_5 в агроценозі короткоротаційної сівозміни за органічної системи удобрення (див. табл. 3).

Оцінку збалансованості різних моделей систем удобрення у короткоротаційній сівозміні здійснили за сукупністю парних кореляцій між сукупністю ознак у матричному кореляційному полі. У загальній моделі кореляційної матриці парних коефіцієнтів кореляції ($n=54$) на прямі й обернені кореляційні зв'язки ($R>0,50$) припадає 69,8% взаємодій. Із них 39% — прямі сильні кореляції,

27,8% — обернені сильні кореляції, а співвідношення між ними 2,5:1 на користь функціональних (прямих) зв'язків. На зв'язки, які стабілізують систему (обернені), припадає 11,1%. За органо-мінеральної системи удобрення зв'язків сильного спрямування ($\pm R>0,5$) було 44%. Із них 37% — функціональні, 7,4% — стабілізувальні, оберненого спрямування, а співвідношення функціональних і стабілізувальних зв'язків було 5:1. Малозначущих зв'язків ($\pm R<0,5$) — 55,6%. В умовах органічної системи удобрення функціональних зв'язків загалом було 52%; прямої дії — 35,2%; оберненої — 16,7% за співвідношення 2,1:1. Зв'язків неістотного спрямування, як і у попередньому випадку, було 48,2%.

За загальної моделі удобрення вихід к.о. та ємність балансу P_2O_5 корелюють на рівні прямої сильної кореляції ($R=0,87$ – $0,96 \pm 0,02$; $R^2=0,76$ – $0,92$), а на одиницю зростання виходу к.о. і основної продукції припадає зростання ємності балансу P_2O_5 — 7,63–10,7 кг. При цьому швидкість обертання P_2O_5 і продуктивність сівозміни за виходом к.о. та основної продукції корелює між собою на рівні слабкого кореляційного зв'язку. Встановлено, що між ємністю балансу P_2O_5 і виходом основної продукції у 5-пільній зерно-просапній сівозміні за загальною моделлю встановлено прямий кореляційний зв'язок на рівні сильної кореляції. На одиницю зростання ємності балансу фосфору припадає 0,008 т/га виходу основної продукції.

4. Рівняння регресії між ємністю балансу фосфору, азоту та виходом основної продукції у зерно-просапній 5-пільній сівозміні за різних систем удобрення

Параметри кореляції	Рівняння регресії	Коефіцієнт кореляції
<i>Загальна модель</i>		
Ємність балансу P_2O_5 , кг: основна продукція, т/га	$y=3,64+0,008 \cdot x$	$r=0,65$
Ємність балансу P_2O_5 : ємність балансу N, кг/га	$y=524,2+1,14 \cdot x$	$r=0,67$
<i>Органо-мінеральна система удобрення</i>		
Ємність балансу P_2O_5 , кг: основна продукція, т/га	$y=-8,76+0,08 \cdot x$	$r=0,95$
Ємність балансу P_2O_5 : ємність балансу N, кг/га	$y=-275,2+6,03 \cdot x$	$r=0,65$
<i>Органічна система удобрення</i>		
Ємність балансу P_2O_5 , кг: основна продукція, т/га	$y=0,87+0,07 \cdot x$	$r=0,65$
Ємність балансу P_2O_5 : ємність балансу N, кг/га	$y=242,9+7,62 \cdot x$	$r=0,49$

Ємність балансу фосфору визначає вихід основної продукції на 64%. Між ємністю балансу фосфору та азоту виявлено прямий кореляційний зв'язок на рівні сильної кореляції. На одиницю зростання ємності балансу фосфору припадає зростання ємності балансу азоту на 1,15 од. (табл. 4).

За органо-мінеральної системи удобрення між ємністю балансу фосфору і виходом основної продукції також виявлено прямий кореляційний зв'язок на рівні сильної кореляції. На одиницю зростання ємності балансу припадає 0,08 одиниць виходу основної продукції. Ємність балансу фосфору визначає вихід основної продукції на 90%. Між ємністю балансу фосфору та азоту виявлено прямий сильний кореляційний зв'язок. На одиницю зростання ємності фосфору припадає 6,03 од. азоту (див. табл. 4).

За органічної системи удобрення зв'язок між ємністю балансу фосфору і виходом основної продукції був на рівні прямої

сильної кореляції, а на одиницю зростання ємності балансу фосфору припадає 0,07 од. приросту основної продукції. Ємність балансу фосфору визначає вихід основної продукції на 60%, що в 1,5 раза менш ефективно порівняно з інтенсивною системою удобрення. Між ємністю балансу фосфору та азоту виявлено прямий кореляційний зв'язок на рівні середнього кореляційного зв'язку. Ємність балансу фосфору визначає зростання ємності балансу азоту на рівні 24%, що менш ефективно в 1,3 раза порівняно з інтенсивною системою удобрення.

Оцінка динаміки врожайності зернових культур за 2011–2019 рр. показала, що зростаючі тренди урожайності зерна за час досліджень виявлено в пшениці озимій та ячменю ярого за органічної системи удобрення, де коефіцієнти регресії при змінній степеневій функції за вирощування ячменю були вищими в 1,5–1,8 раза, а за вирощування пшениці озимій наближались до

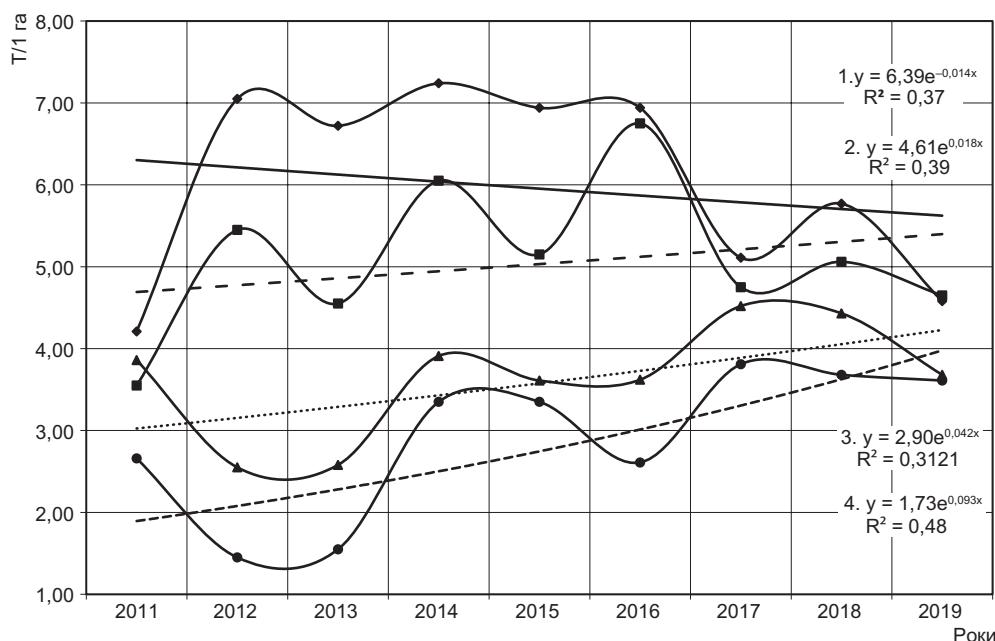


Рис. 1. Динаміка урожайності пшениці озимій та ячменю ярого залежно від удобрення у зерно-просапній 5-пільній сівозміні за 2011–2019 рр.: —◆— 1. інтенсивна система (пшениця озима); —■— 2. органічна система (пшениця озима); —▲— 3. інтенсивна система (ячмінь ярий); —●— 4. органічна система (ячмінь ярий); — 1. інтенсивна система (пшениця озима); — 2. органічна система (пшениця озима); 3. інтенсивна система (ячмінь ярий); - - - 4. органічна система (ячмінь ярий)

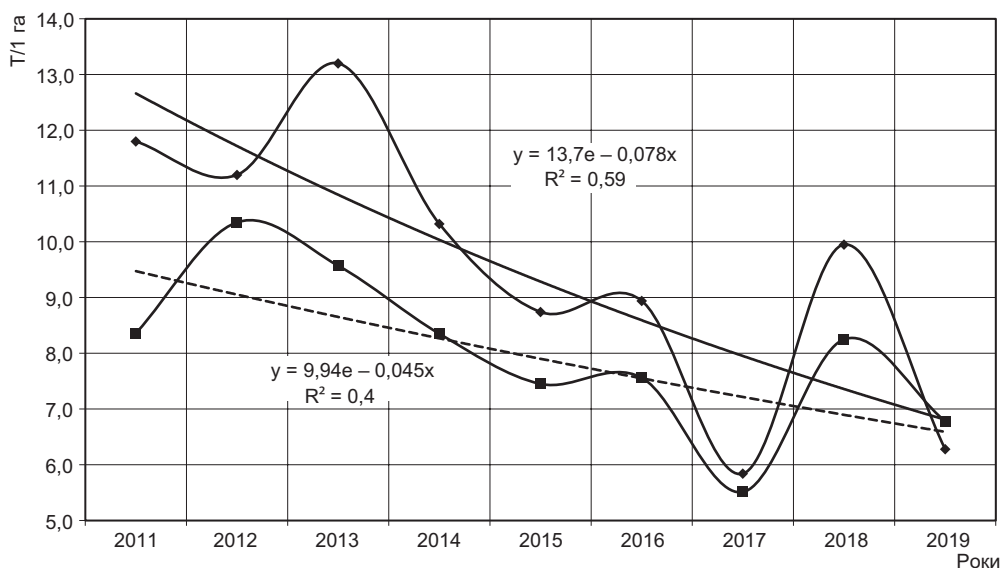


Рис. 2. Динаміка урожайності кукурудзи на зерно залежно від удобрення у зерно-просапній 5-пільній сівозміні за 2011–2019 рр.: —◆— — інтенсивна система; —■— — органічна система; — — експоненціальна — інтенсивна система; - - - - експоненціальна — органічна система

значень за орґано-мінеральної системи. За значенням вільного члена рівняння регресії темпи зростання урожайності пшениці озимої за органічної системи перевищували орґано-мінеральну систему в 1,38 раза,

але за абсолютним значенням залишалися меншими в 2019 р. Під час вирощування зміни урожайності були спадними, але менше, ніж за орґано-мінеральної системи. Загалом урожайність зернових за органічної

5. Параметри урожайності зернових культур за різних систем удобрення (2011–2019 рр.)

Система удобрення	Система удобрення			Типізована урожайність, т/га			***Coef. Var., %
	Середня	min	max	med P _{0,50}	L _{0,25}	L _{0,75}	
		*max–min			**L _{0,75} –L _{0,25}		
Пшениця озима							
Орґано-мінеральна	6,24	4,21	7,24	6,78	5,44	7,00	17,5
Орґанічна	5,16	3,55	6,75	5,10	4,65	5,75	18,7
Кукурудза							
Орґано-мінеральна	9,99	5,84	13,2	10,1	8,84	11,50	22,4
Орґанічна	8,10	5,51	10,4	7,96	7,50	8,98	18,2
Ячмінь ярий							
Орґано-мінеральна	3,63	2,55	4,49	3,74	3,10	4,18	20,3
Орґанічна	2,85	1,45	3,81	3,00	2,08	3,52	32,5
Зернові культури							
Орґано-мінеральна	6,67	5,18	7,50	6,78	6,46	7,10	10,5
Орґанічна	5,35	4,69	5,92	5,37	5,05	5,70	7,95
Примітки: *параметр max–min — амплітудний розмах; **L _{0,75} –L _{0,25} — квантельний, або нормований розмах; ***Coef. Var., % — коефіцієнт варіації.							

Примітки: *параметр max–min — амплітудний розмах; **L_{0,75}–L_{0,25} — квантільний, або нормований розмах; ***Coef. Var., % — коефіцієнт варіації.

та органо-мінеральної систем вирощування була спадною, але за органічної системи удобрення спадність тренду була в 1,9 раза меншою порівняно з інтенсивною системою удобрення (рис. 1, 2).

Статистична оцінка урожайності за 2011–2019 рр. показала, що середня врожайність пшениці озимої, кукурудзи, ячменю була на рівні 5,16 т/га, 8,10 та 2,85 т/га відповідно, а зернових загалом — 5,35 т/га, що становить 78,5–82,7% від органо-мінеральної системи удобрення (табл. 5). Амплітудний розмах ($\max - \min = \Delta$) урожайності за органічної системи вирощування зміщений у бік менших абсолютних значень інтервалу

і значно звужений порівняно з органо-мінеральною системою удобрення. Значення урожайності за медіаною при органічній системі удобрення мали менші абсолютні значення порівняно з органо-мінеральною системою удобрення, але, як і в останньому випадку, тяжіли до значень урожайності за верхнім нормованим значенням ($L_{0,75}$), що свідчить про поступове зростання урожайності в часовому вимірі. Коефіцієнт варіації врожайності зернових культур за органічної системи удобрення був нижчим, окрім урожайності ячменю, порівняно з органо-мінеральною системою удобрення — 7,95 проти 10,5%.

Висновки

Проведена порівняльна оцінка балансу фосфору в 5-пільній зерно-просапній сівозміні за використання побічної продукції як органічних добрив із насиченням сівозміни зернобобовими культурами показала, що баланс фосфору за органо-мінеральною системою удобрення був додатним (+17,7 кг/га), тоді як за органічної системи удобрення — від'ємним (–16,6 кг/га). Інтенсивність та ємність балансу фосфору за органічної системи удобрення були меншими в 2,7 та 3,7 раза порівняно з органо-мінеральною системою удобрення.

За органічної системи удобрення між продуктивністю (за виходом кормових одиниць і основної продукції) та швидкістю обороту і ємністю балансу P_2O_5 виявлено достовірні кореляційні зв'язки: з продуктивністю зв'язок був оберненим ($R = -0,65 - 0,69 \pm 0,02$; $R^2 = 0,42 - 0,48$), а з зазначеними показниками балансу — прямим ($R = +0,67 - 0,69 \pm 0,02$; $R^2 = 0,45 - 0,52$). Порівняно з органо-мінеральною системою удобрення кореляційні зв'язки були дещо послаблені, а на одиницю виходу к.о. і основної продукції припадало в 1,78 і 2,11 раза менше зростання ємності балансу P_2O_5 .

Ємність балансу фосфору як оцінний показник балансу виявився надійним

критерієм оцінки взаємодії із ємністю балансу N і CO_2 за різних систем удобрення: встановлено прямий кореляційний зв'язок на середньому рівні: $R = 0,53 \pm 0,02$; $R^2 = 0,23$ для N та $R = 0,90 \pm 0,03$; $R^2 = 0,86$ — для CO_2 . На одиницю зростання ємності балансу фосфору припадало 7,62 кг N і 0,79 т CO_2 , що значно вище порівняно з органо-мінеральною системою удобрення та свідчить про напруженість балансу фосфору за органічної системи удобрення.

Оцінка динаміки урожайності зернових культур за 2011–2019 рр. показала, що незалежно від системи удобрення зростаючі тренди урожайності виявлено за вирощування пшениці озимої та ячменю ярого. За вирощування кукурудзи тренди зміни урожайності були спадними, але менше, ніж за органічної системи удобрення, що дало можливість вийти на рівень урожайності близько 7 т/га, як і за органо-мінеральної системи удобрення. Загалом врожайність зернових за органічної та органо-мінеральної систем вирощування була спадною, але за органічної системи удобрення спадність тренду була в 1,9 раза меншою порівняно з органо-мінеральною системою удобрення. Середня врожайність зернових за органічної системи удобрення менша на 1,32 т/га щодо органо-мінеральної системи, яка становить 6,67 т/га.

Demydenko O.

Cherkasy State Agricultural Research Station of National Institute of Agriculture of NAAS, 13 Dokuchaieva Str., Holodnianske village, Smila region, Cherkasy oblast, Ukraine, 20731; e-mail: smilachiapv@ukr.net; ORCID: 0000-0002-5334-1154

Phosphorous balance in different fertilization systems in agrocenosis of the Central Forest-Steppe

Goal. To give a comparative assessment of the balance of phosphorus, and to determine a connection with the productivity of cereals in the short crop rotation for long-term application of organic and organo-mineral fertilizer systems in the Central Forest-Steppe of Ukraine. By-products of crops were used as organic fertilizer at saturation of the crop rotation with the legume. **Methods.** Studies were carried out in the stationary field experiment in the Cherkasy state agricultural experimental station of NSC «Institute of agriculture of NAAS» in 2011–2019 on the area of 0.75 ha in 5 fields with the seed size of the plot 30 m², and 4-times repeatability. They used field, laboratory, comparative-calculation, and mathematical methods. **Results.** At the use of organic fertilizer system, a strong correlation was revealed between the output of f.u. and the main products and the rate of turnover and balance capacity of P₂O₅; in the first case, the opposite ($R=0.65-0.69\pm 0.02$;

$R^2=0.42-0.48$), in the second — direct ($R=0.67-0.85\pm 0.02$; $R^2=0.45-0.72$). Compared to the organo-mineral fertilizer system correlation weakened somewhat. Per unit of output of f.u. and the primary product increase of the capacity of the P₂O₅ balance was in 1.78 and 2.11 times smaller. Between the P₂O₅ balance capacity and balance capacity of N and CO₂ was a direct correlation on the average level: $\bar{R}=0.53\pm 0.02$; $R^2=0.23$ for N, and $R=0.90\pm 0.03$; $R^2=0.86$ — for CO₂. Per unit of the capacity growth of balance of phosphorus, they fixed 7.62 kg N and 0.79 tons of CO₂, which was significantly higher as compared to the organo-mineral fertilizer system. **Conclusions.** Assessment of dynamics of yield of grain crops in 2011–2019 had shown the following: in organic fertilizer system the increasing trends were detected in winter wheat and barley; in organo-mineral fertilizer system regression coefficients for the variable degree functions at the cultivation of barley were higher in 1.5–1.8 times, winter wheat — were approaching each other. Grain yields at the use of organic and organo-mineral fertilizer systems of cultivation were decreasing, at the use of organic fertilizer system, the drop in trend was in 1.9 times less.

Key words: organic fertilizer system, organo-mineral fertilizer system, turnover of phosphorus, intensity of balance, capacity of balance, winter wheat, spring barley, corn.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202005-03>

Бібліографія

1. Носко Б.С., Бабикин В.І., Юнакова Т.А., Копоть Н.П. Динаміка структури фосфатного фонду чорнозему типового. *Вісник аграрної науки*. 2003. № 9 (605). С. 10–15.
2. Носко Б.С., Бабикин В.І., Бурлакова Л.М., Копоть Н.П. Післядія добрив на фосфатний режим чорноземів України. *Вісник аграрної науки*. 2008. № 12 (668). С. 17–22.
3. Носко Б.С. Сучасні проблеми фосфору в землеробстві і шляхи їх розв'язання. *Вісник аграрної науки*. 2017. № 6 (771). С. 5–12. doi: 10.31073/agrovisnyk201706-01
4. Іваніна В.В., Шиманська Н.К., Мазур Г.М. Заходи біологізації у формуванні фосфатного режиму чорнозему типового. *Вісник аграрної науки*. 2013. № 12 (730). С. 5–12.
5. Носко Б.С. Фосфор в землеробстві України. *Вісник аграрної науки*. 2014. № 7 (615). С. 14–17.
6. Гуляев Б.И., Патыка В.Ф. Фосфор как энергетическая основа процессов фотосинтеза, роста и развития растений. *Агроэкологический журнал*. 2004. № 2. С. 3–9.
7. Abel S., Ticconi C.A., Delatorre C.A. Phosphate sensing in higher plants. *Physiol. Plant*. 2002. V. 115. P. 1–8. doi: 10.1034/j.1399-3054.2002.1150101.x
8. Долгополова Н.В. Факторы плодородия в биологическом земледелии лесостепи Центрального Черноземья. *Региональный вестник*. 2016. № 2(3). С. 27–29.
9. Долгополова Н.В. Биологическая система земледелия и воспроизводство плодородия почвы в лесостепи Центрального Черноземья. *Региональный вестник*. 2016. № 2(3). С. 29–32.
10. Дериглазова Г.М., Боева Н.Н. Улучшенный балансовый метод расчета доз минеральных удобрений для эффективного использования природного потенциала агроландшафтов. *Вестник Курской сельскохозяйственной академии*. 2018. № 7. С. 11–14.
11. Крамарев С.М., Красненков С.В., Токмакова Л.Н. и др. Эффективность использования фосфорных удобрений в агроценозах зерновых культур. *Фосфор и калий у землеробстві*.

Проблеми мікробіологічної мобілізації. Міжнар. наук.-практ. конф. Наукові доповіді. Чернівці: КП «Друкарня», 2004. № 13. С. 56–65.

12. Медведєв В.В. Проблема фосфору в Україні та шляхи її розв'язання. *Вісник аграрної науки*. 2000. № 7. С. 82–84.

13. Христенко А.А. Проблема изучения фосфатного состояния почв. *Агрохимия*. 2001. № 6. С. 89–95.

14. Agbenin J.O. Extractable iron and aluminum effects on phosphate sorption in a Savanna Alfisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2003. V. 67. P. 589–595. doi: 10.2136/sssaj2003.5890

15. Batten G.D. A review of phosphorus efficiency in wheat. *Plant and Soil*. 1992. V. 146. P. 163–168. doi: 10.1007/bf00012009

16. Bolland M.D.A., Gilkes R.J. The chemistry and agronomic effectiveness of phosphate fertilizers. Nutrient use in crop production. N.Y.: The Haworth Press, 1998. P. 139–163. doi: 10.1201/9780203745281-6

17. Buehler S., Oberson A., Rao I. M. et al. Sequential phosphorus extraction of a ^{32}P -labeled Oxisol under contrasting agricultural systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2002. V. 66. P. 868–877. doi: 10.2136/sssaj2002.0868

18. Furihata T., Suzuki M., Sakurai H. Kinetic characterization of two phosphate uptake system

with different affinities in suspension cultured *Catharanthus roseus* protoplasts. *Plant and Cell Physiol.* 1992. V. 33. P. 1153–1157. doi: 10.1093/oxfordjournals.pcp.a078367

19. Abel S., Ticconi C.A., Delatorre C.A. Phosphate sensing in higher plants. *Physiol. Plant.* 2002. V. 115. P. 1–8. doi: 10.1034/j.1399–3054.2002.1150101.x

20. Marschner P., Crowley D.E., Yang C.H. Development of specific rhizosphere bacterial communities in relation to plant species, nutrition and soil type. *Plant Soil*. 2004. V. 261. P. 199–208. doi: 10.1023/b:plso.0000035569.80747.c5

21. Marschner P., Grierson P.F., Rengel Z. Microbial community composition and functioning in the rhizosphere of three Banksia species in native woodland in Western Australia. *Appl. Soil Ecol.* 2005. V. 28. P. 191–201. doi: 10.1016/j.apsoil.2004.09.01

22. Балюк С.А., Греков В.О., Лісовий М.В., Комариста А.В. Розрахунок балансу гумусу і поживних речовин у землеробстві України на різних рівнях управління. Харків: КП «Міська друкарня», 2011. 30 с.

23. Рамазанова Н.И., Ахметова З.Н., Дибирова А.П. Биологические особенности круговорота азота, фосфора, калия, бора и молибдена в агроценозе озимой пшеницы. Сельскохозяйственная экология. Юг России: экология, развитие. 2007. № 4. С. 108–111.