

УДК 631.816:631.452

Баланс елементів живлення та продуктивність сівозмін залежно від їх структури й удобрення

 В. В. Іваніна*,  Т. П. Прокоп'юк

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна, *e-mail: v_ivanina@ukr.net

Мета. Дослідити вплив систем удобрення на продуктивність короткоротаційних сівозмін та формування балансу елементів живлення у ґрунті. **Методи.** Довготривалий польовий та аналітичний. **Результати.** Представлено продуктивність сівозмін та баланс елементів живлення у ґрунті залежно від їх структури та систем удобрення. Встановлено, що органо-мінеральні системи удобрення формували найвищу кормову продуктивність сівозмін та найкращі показники балансу елементів живлення у ґрунті. **Висновки.** Застосування у плодозмінній сівозміні $N_{53}P_{42}K_{42} + 6,7$ т гною на 1 га ріллі забезпечило найвищу кормову продуктивність – 9,2 тонн кормових одиниць (т к. од.) на 1 га з перевагою до контролю без добрив – 3,8 т к. од. на 1 га сівозмінної площі. У просапній сівозміні ефективним визначено застосування традиційного та альтернативного органо-мінерального удобрення: продуктивність сівозміни – 8,4 та 8,3 т к. од. на 1 га сівозмінної площі, відповідно. Органо-мінеральні системи удобрення формували врівноважений баланс азоту у плодозмінній та просапній сівозмінах за інтенсивності балансу – 94–95% та 100–103%; у зерно-просапній сівозміні баланс азоту формувався від'ємним за інтенсивності 82–84%. В усіх сівозмінах поєднане внесення органічних і мінеральних добрив сприяло накопиченню фосфору у ґрунті і формувало позитивний його баланс за інтенсивності 103–115%. Жодна із систем удобрення не забезпечила позитивного балансу калію у ґрунті. Найкращі показники балансу калію у сівозмінах формувались за внесення $N_{53}P_{42}K_{42} +$ побічна продукція на 1 га ріллі з дефіцитом калію 33–41 кг/га сівозмінної площі та інтенсивності його балансу 73–78%.

Ключові слова: добрива; поживні елементи; азот; фосфор; калій.

Вступ

Важливим аспектом сучасних технологій вирощування сільськогосподарських культур є досягнення їх високої продуктивності на засадах сталості, коли внесення добрив покриває винос елементів живлення із ґрунту та зберігає стабільність органічного пулу ґрунту [1, 2]. Структура сівозмін та органо-мінеральні системи удобрення є ключовими факторами у досягненні поставлених цілей [3, 4]. Найефективнішою і екологічно збалансованою системою удобрення зерно-бурякових сівозмін є органо-мінеральна з внесенням понад 10 т гною на 1 га сівозмінної площі [5, 6].

В умовах сучасного виробництва, яке потерпає від нестачі виробництва та внесення гною, дедалі більшої популярності набувають альтернативні органо-мінеральні системи удобрення, які передбачають використання на добриво побічної продукції сільськогосподарських культур [7, 8]. Внесення побічної продукції зменшує винос елементів живлення із ґрунту більш, ніж на 40 % і залучає до рециркуляції 30–35 % азоту та фосфору та понад 65–70 % калію [9]. Інтенсивність рециркуляції елементів живлення залежить від структури сівозмін, частки в них просапних та бобових культур [10]. Збільшення частки просапних культур збільшує обсяги виносу елементів живлення із ґрунту, натомість включання до структури сівозмін бобових культур, особливо бобових трав наповнює ґрунт біологічним азотом і покращує його баланс [11]. В умовах сучасних короткоротаційних сівозмін ці питання недостатньо вивчені й потребують досліджень.

Мета досліджень – дослідити вплив систем удобрення на продуктивність короткоротаційних сівозмін та формування балансу елементів живлення у ґрунті.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводили в умовах польового стаціонарного досліді Білоцерківської дослідно-селекційної станції Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН (Київська обл., Білоцерківський р-н) упродовж 2018–2024 рр.

Ґрунт дослідного поля – чорнозем вилугуваний середньосуглинковий. Орний шар ґрунту (0–30 см) містить гумусу – 3,6–3,8 % (за Тюрнімом), рухомого фосфору та калію (за Чиріковим) – 151–168 та 65–79 мг/кг ґрунту, гідролітична кислотність (за Каппеном) – 1,71–1,80 мг-екв/100 г ґрунту.

Розміри посівної ділянки у стаціонарному досліді становила 228 м², облікової – 100 м², повторність – триразова.

За даними метеопункту м. Біла Церква роки проведення досліджень (2019–2024) відзначались надмірно теплими і посушливими погодними умовами. Оцінка погодних умов за гідротермічним коефіцієнтом Селянинова (ГТК) показала, що в роки проведення досліджень за винятком 2021 року погодні умови упродовж вегетації були слабко посушливі: у 2019 році – ГТК = 0,77; у 2020 році – ГТК = 1,00; у 2022 році – ГТК = 0,96; у 2023 році – ГТК = 0,88; у 2024 році – ГТК = 0,79. У 2021 році складувались умови достатнього зволоження упродовж періоду вегетації – ГТК = 1,16. Середній багаторічний показник ГТК становив 1,13, що вказує на значне зростання посушливості клімату у роки проведення досліджень на Білоцерківській ДСС (табл. 1).

Таблиця 1

Рік	Місяці								За вегетацію
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
2019	2,05	1,00	1,44	1,46	0,39	0,33	0,45	0,03	0,77
2020	1,11	0,54	2,43	0,41	0,35	1,13	0,44	2,59	1,00
2021	3,70	1,67	3,17	0,77	1,07	0,91	0,45	0,14	1,16
2022	2,0	2,59	0,55	0,54	0,59	0,94	1,63	0,92	0,96
2023	3,8	3,87	0,11	0,37	1,72	0,12	0,30	1,39	0,88
2024	10,5	1,86	0,15	1,22	0,18	0,56	1,15	1,03	0,79
Середнє багаторічне	26,4	1,59	1,23	1,18	1,07	0,71	1,09	1,58	1,13

У 2019 році квітень, травень і червень – були достатньо забезпечені вологою: липень, серпень і жовтень – дуже сильно посушливими, вересень – сильно посушливим. У середньому перша половина вегетації (квітень – червень) була достатньо забезпечена вологою (ГТК = 1,30), друга (липень – жовтень) – характеризувалась умовами дуже сильної посухи (ГТК = 0,30).

У 2020 році травень, липень і вересень – були сильно посушливі, травень і жовтень – дуже вологі. У середньому перша половина вегетації (квітень – липень) була слабко посушлива (ГТК = 0,93), друга (серпень – жовтень) – відзначалась умовами достатнього зволоження (ГТК = 1,39).

У 2021 році квітень, травень і липень – мали умови достатнього зволоження, червень і серпень – були слабко посушливі, вересень і жовтень – відзначались умовами сильної посухи. У середньому перша половина вегетації (квітень – липень) мала умови достатнього зволоження (ГТК = 1,67) та друга половина (серпень – жовтень, ГТК = 0,50) відзначалась умовами сильної посухи.

У 2022 році травень, червень і липень – були сильно посушливими, серпень – слабко посушливим, вересень і жовтень – відзначались умовами достатнього зволоження. У середньому перша половина вегетації (квітень – липень) була слабко посушлива (ГТК = 0,96), друга (серпень – жовтень) – волога (ГТК = 1,16).

У 2023 році травень, червень, серпень і вересень – були дуже сильно сухі, жовтень – вологий, квітень і липень – дуже вологі. У середньому перша половина вегетації (квітень – липень) була волога (ГТК = 1,49), друга (серпень – жовтень) – середньо суха (ГТК = 0,60).

У 2024 році травень і липень – були дуже сильно сухі, серпень – сильно сухий, червень, вересень і жовтень – вологі, квітень – дуже вологий. У середньому перша половина вегетації (квітень – липень, ГТК = 0,85) та друга половина (серпень – жовтень, ГТК = 0,91) – були слабко посушливі.

За середніми багаторічними даними перша половина вегетації (квітень – липень) мала усереднене ГТК = 1,27, друга половина (серпень – жовтень) – 1,13, що вказує на умови достатнього зволоження.

Об'єктом досліджень були три типи сівозмін:

1) плодозмінна з набором культур вико-овес – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь + конюшина – конюшина – пшениця озима;

2) зерно-просапна: вико-овес – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь – вика яра – пшениця озима;

3) просапна: вико-овес – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь – соя – соняшник (табл. 2).

У сівозмінах з осені під глибоку оранку вносили із органічних добрив підстилковий напіврозкладений гній, побічну продукцію пшениці озимої, ячменю ярого, сої, соняшнику, буряків цукрових; із мінеральних – амонійну селітру, суперфосфат простий, хлорид калію.

У рослинних зразках на момент збирання врожаю визначали вміст елементів живлення: азот – згідно з ДСТУ 7169-2010, фосфор – згідно з ДСТУ ISO 6491:2004, калій – на полуменовому фотометрі. Винос та баланс елементів живлення із ґрунту визначали розрахунковим методом у розрізі окремих культур та в розрахунку на 1 га сівозмінної площі. Продуктивність сівозмін визначали розрахунковим методом, перемножуючи середню за три роки врожайність культур сівозмін на коефіцієнти [12]. Для обліку врожайності використовували метод пробних ділянок з подальшим перерахунком на площу 1 га.

Експериментальні дані опрацьовували методом дисперсійного аналізу з використанням комп'ютерної програми Statistica 2010.

Схема досліду з вивчення впливу добрив та структури сівозмін на врожайність культур та родючість чорнозему вилугуваного у шостій ротації (БЦДСС, 2019–2024 рр.)

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозмінної площі	Схема чергування культур в сівозміні та їх удобрення					
		I вико-овес	II пшениця озима	III буряки цукрові	IV ячмінь ярий	V – конюшина; – вика яра; – соя	VI – пшениця озима; – пшениця озима; – соняшник
Вико-овес – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь + конюшина – конюшина – пшениця озима (плодозмінна сівозмінна)							
11	Без добрив (контроль)	–	–	–	–	–	–
2	N ₅₃ P ₄₂ K ₄₂	–	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₁₀₀ P ₉₀ K ₉₀	–	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀
13	N ₅₃ P ₄₂ K ₄₂ + 6,7 т гною	–	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₁₀₀ P ₉₀ K ₉₀ + 40 т гною	–	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀
4	N ₅₃ P ₄₂ K ₄₂ + побічна продукція	солома пшениці	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₁₀₀ P ₉₀ K ₉₀ + солома пшениці	гичка ц/б	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀
Вико-овес-пшениця озима-буряки цукрові-ячмінь-вика яра-пшениця озима (зерно-просапна сівозмінна)							
51	Без добрив (контроль)	–	–	–	–	–	–
55	N ₅₃ P ₄₂ K ₄₂	–	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₁₀₀ P ₉₀ K ₉₀	–	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀
53	N ₅₃ P ₄₂ K ₄₂ + 6,7 т гною	–	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₁₀₀ P ₉₀ K ₉₀ + 40 т гною	–	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀
49	N ₅₃ P ₄₂ K ₄₂ + побічна продукція	солома пшениці	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₁₀₀ P ₉₀ K ₉₀ + солома пшениці	гичка ц/б	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀
Вико-овес-пшениця озима-буряки цукрові-ячмінь-соя-соняшник (просапна сівозмінна)							
31	Без добрив (контроль)	–	–	–	–	–	–
33	N ₅₃ P ₄₂ K ₄₂ + 6,7 т гною	–	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₁₀₀ P ₉₀ K ₉₀ + 40 т гною	–	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀
26	N ₅₃ P ₄₂ K ₄₂ + побічна продукція	солома пшениці	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₁₀₀ P ₉₀ K ₉₀ + солома пшениці	гичка ц/б	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀

Результати досліджень

За вирощування культур без застосування добрив продуктивність плодозмінної сівозміни була найвища – 5,4 т к. од./га, тоді як зерно-просапної – 4,9, просапної – 4,5 т к. од./га сівозмінної площі (рис. 1).

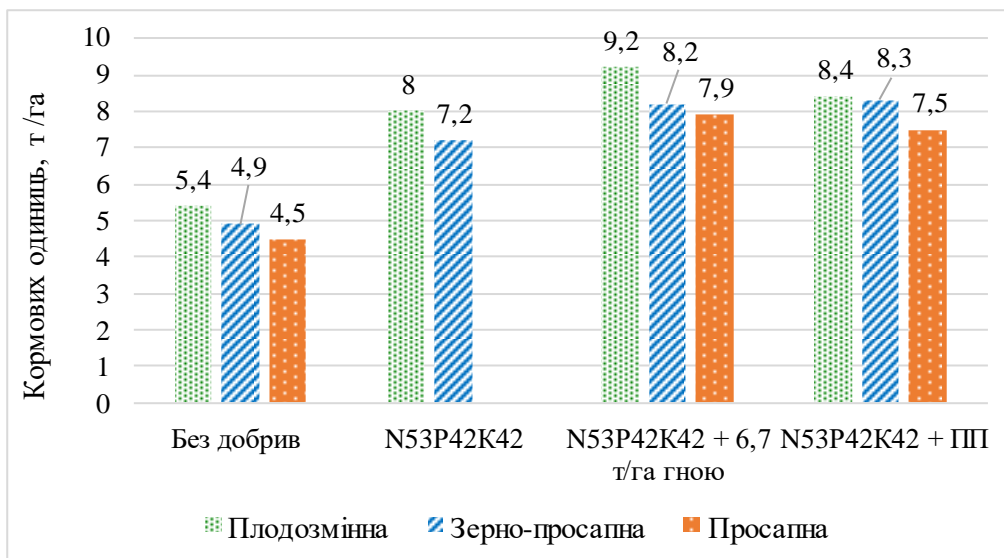


Рис. 1. Продуктивність сівозмін залежно від їх структури та удобрення (середнє за 2018–2024 рр.)

Примітка. ПП – побічна продукція.

Застосування мінеральних добрив у дозі $N_{53}P_{42}K_{42}$ на 1 га сівозміни підвищило кормову продуктивність сівозмін порівняно з контролем без добрив: плодозмінної – на 2,4 т к.од./га, зерно-просапної – на 2,3 за абсолютних показників 8,0 та 7,2 т к. од. на 1 га сівозмінної площі. При цьому кормова продуктивність плодозмінної сівозміни була вища порівняно із зерно-просапною на 0,8 т к. од. на 1 га сівозмінної площі.

Найвищої кормової продуктивності сівозмін досягнуто за традиційної на основі гною органо-мінеральні системи удобрення. Внесення $N_{53}P_{42}K_{42} + 6,7$ т/га гною на 1 га сівозміни забезпечило продуктивність плодозмінної сівозміни – 9,2 т к. од./га, зерно-просапної – 8,2, просапної – 7,9, що порівняно з контролем без добрив визначено вищим – на 3,8; 3,3 та 3,4 т к. од. на 1 га сівозмінної площі. Продуктивність плодозмінної сівозміни порівняно із зерно-просапною була вищою на 1,0 т к. од./га, просапною – на 1,3 т к. од. на 1 га сівозмінної площі.

Досить ефективним у короткоротаційних сівозмінах визначено застосування альтернативної органо-мінеральної системи удобрення. Внесення $N_{53}P_{42}K_{42} +$ побічна продукція на 1 га сівозміни забезпечило продуктивність плодозмінної сівозміни – 8,4 т к. од./га, зерно-просапної – 8,3, просапної – 7,5, що порівняно з контролем без добрив було вищим – на 3,0; 3,4 та 3,0 т к. од. на 1 га сівозмінної площі. Продуктивність плодозмінної сівозміни перевищила зерно-просапну на 0,1 т к. од./га, просапну – на 0,9 т к. од. на 1 га сівозмінної площі.

Отже, застосування органо-мінеральних систем удобрення у плодозмінній сівозміні формувало найвищу кормову продуктивність – 8,4–9,2 т к. од. на 1 га сівозмінної площі.

Важливим аспектом сучасного виробництва є формування сталих засад вирощування сільськогосподарських культур. Розрахунок балансу елементів живлення у короткоротаційних зерно-бурякових сівозмінах показав, що на контролі без добрив їх баланс формувався від'ємним: азоту – $-34-49$ кг/га, фосфору – $-29-30$, калію – $-77-83$ кг/га сівозмінної площі. У просапній сівозміні показники балансу азоту та калію були кращі, ніж у плодозмінній та зерно-просапній сівозмінах, баланс фосфору – був співставним. Це є наслідком нижчої врожайності культур у просапній сівозміні та меншого виносу елементів живлення із ґрунту (табл. 1).

Застосування мінеральних добрив у плодозмінній та зерно-просапній сівозмінах формувало врівноважений баланс фосфору і зберігало від'ємний баланс азоту і калію. За дози добрив $N_{53}P_{42}K_{42}$ на 1 га сівозміни баланс азоту формувався від'ємним у кількості $-31-42$ кг/га, калію – $-76-96$, тоді як баланс фосфору був майже врівноваженим – $-1-4$ кг/га сівозмінної площі. Внесення добрив

підвищило врожайність сільськогосподарських культур, при цьому істотно зростав винос азоту і калію, що формувало дефіцит балансу цих елементів у ґрунті.

Таблиця 1

Баланс елементів живлення у зерно-бурякових сівозмiнах залежно від їх структури та удобрення (середнє за 2022–2024 рр.)

№ вар.	Сiвозмiна (фактор А)	Дози добрив на 1 га сiвозмiни (фактор В)	Баланс, кг/га		
			N	P	K
11	Плодозмiнна	Без добрив (контроль)	-49	-29	-83
2		N ₅₃ P ₄₂ K ₄₂	-31	-4	-96
13		N ₅₃ P ₄₂ K ₄₂ + 6,7 т/га гною	-9	6	-79
4		N ₅₃ P ₄₂ K ₄₂ + побiчна продукцiя	-7	5	-41
51	Зерно-просапна	Без добрив (контроль)	-46	-29	-77
55		N ₅₃ P ₄₂ K ₄₂	-42	-1	-76
53		N ₅₃ P ₄₂ K ₄₂ + 6,7 т/га гною	-25	8	-58
49		N ₅₃ P ₄₂ K ₄₂ + побiчна продукцiя	-23	3	-33
31	Просапна	Без добрив (контроль)	-34	-30	-79
33		N ₅₃ P ₄₂ K ₄₂ + 6,7 т/га гною	0	2	-70
26		N ₅₃ P ₄₂ K ₄₂ + побiчна продукцiя	3	0	-33

Найбiльш сприятливий баланс елементiв живлення у ґрунті формувався за органо-мiнеральних систем удобрення. За внесення N₅₃P₄₂K₄₂ + 6,7 т гною на 1 га сiвозмiни баланс азоту формувався вiд врівноваженого у просапнiй сiвозмiнi до вiд'ємного в кiлькостi 25 кг/га у зерно-просапнiй та 9 кг/га у плодозмiннiй сiвозмiнах. Баланс фосфору в усiх сiвозмiнах формувався додатнiм в кiлькостi 2–8 кг/га сiвозмiннiй площi; баланс калiю зберiгався високо вiд'ємним в кiлькостi 58–79 кг/га сiвозмiннiй площi. Це є наслiдком того, що рослини виносили велику кiлькiсть калiю, а його внесення у складi добрив було низьким i не покривало потреби рослин у цьому елементi.

Застосування у сiвозмiнах альтернативного органо-мiнерального удобрення формувало спiвставний з традицiйною на основi гною системою удобрення баланс азоту i фосфору у ґрунті та значно покращило баланс калiю. За внесення N₅₃P₄₂K₄₂ + побiчна продукцiя на 1 га сiвозмiни баланс азоту формувався вiд позитивного (3 кг/га) у просапнiй сiвозмiнi до вiд'ємного у зерно-просапнiй та плодозмiннiй сiвозмiнах в кiлькостi -7 та -23 кг/га сiвозмiннiй площi. Баланс фосфору у сiвозмiнах формувався врівноваженим та позитивним в кiлькостi вiд 0 до 5 кг/га сiвозмiннiй площi. Альтернативна система удобрення покращила баланс калiю у ґрунті порiвняно з традицiйною на основi гною системою удобрення у плодозмiннiй сiвозмiнi – на 38 кг/га, зерно-просапнiй – на 25, просапнiй – на 37 кг/га сiвозмiннiй площi. Покращення балансу калiю у ґрунті за альтернативного органо-мiнерального удобрення обумовлено високим рiвнем його рециркуляцiї за заорювання побiчної продукцiї.

Отже, застосування альтернативної органо-мiнеральної системи удобрення формувало найкращий баланс елементiв живлення у ґрунті у просапнiй сiвозмiнi: азоту додатнiй в кiлькостi 3 кг/га, фосфору – врівноважений, калiю – вiд'ємний -33 кг/га сiвозмiннiй площi. Внесення добрив в усiх сiвозмiнах було недостатнiм для формування у ґрунті позитивного балансу калiю.

Висновки

Застосування традицiйної на основi гною органо-мiнеральної системи удобрення у плодозмiннiй сiвозмiнi забезпечило найвищу кормову продуктивнiсть – 9,2 т к. од./га з перевагою до контролю без добрив – 3,8 т к. од. на 1 га сiвозмiннiй площi. У просапнiй сiвозмiнi ефектним визначено застосування традицiйного та альтернативного органо-мiнерального удобрення: продуктивнiсть сiвозмiни – 8,4 та 8,3 т к. од. на 1 га сiвозмiннiй площi, вiдповiдно.

Застосування органо-мiнеральних систем удобрення формувало врівноважений баланс азоту у плодозмiннiй та просапнiй сiвозмiнах за iнтенсивностi балансу – 94–95 % та 100–103 %; у зерно-просапнiй сiвозмiнi баланс азоту формувався вiд'ємним за iнтенсивностi 82–84 %. Органо-мiнеральнi системи удобрення в усiх сiвозмiнах забезпечили накопичення фосфору у ґрунті i формували позитивний його баланс за iнтенсивностi 103–115 %. Жодна з систем удобрення не забезпечила позитивного балансу калiю у ґрунті. Найкращi показники балансу калiю у сiвозмiнах формувалися за альтернативного органо-мiнерального удобрення з дефіцитом калiю 33–41 кг/га сiвозмiннiй площi та iнтенсивностi його балансу 73–78 %.

Використана література

1. Безуглий М. Д., Заришняк А. С., Лісовий М. М., Седіло Г. М. Оптимізація основних ланок землеробства в західному регіоні України. *Вісник аграрної науки*. 2010. № 2. С. 5–10.
2. Балюк С. А., Медведєв В. В., Тараріка О. Г. Про стан родючості ґрунтів України : Національна доповідь. Київ, 2010. 111 с.
3. Цвей Я. П., Шиманська Н. К. Агроекологічна оцінка балансу системи удобрення зерно-бурякової сівозміни Лісостепу України. *Збірник наукових праць Інституту агроекології та біотехнології УААН*. 2000. Вип. 4. С. 92–98.
4. Цвей Я. П., Петрова О. Т., Климчик С. М. Баланс елементів живлення в сівозмінах Лісостепу. *Науковий вісник Національного аграрного університету*. 2008. Вип. 129. С. 239–244.
5. Chen J., Li J., Yang X. et al. The Effects of Biochar-Based Organic Fertilizer and Mineral Fertilizer on Soil Quality, Beet Yield, and Sugar Yield. *Agronomy*. 2023. Vol. 13. Article 2423. doi: 10.3390/agronomy13092423
6. Martyniuk S., Pikuła D., Kozieł M. Soil properties and productivity in two long-term crop rotations differing with respect to organic matter management on an Albic Luvisol. *Scientific Report*. 2019. Vol. 9. Article 1878. doi: 10.1038/s41598-018-37087-4
7. Сайко В. Ф. Використання на удобрення побічної продукції рослинництва в Україні. *Землеробство*. 2009. Вип. 81. С. 3–9.
8. Liu D. L., Zeleke K. T., Wang B. et al. Crop residue incorporation can mitigate negative climate change impacts on crop yield and improve water use efficiency in a semiarid environment. *European Journal of Agronomy*. 2017. Vol. 85. P. 51–68. doi: 10.1016/j.eja.2017.02.004
9. Заришняк А. С., Цвей Я. П., Іваніна В. В. Оптимізація удобрення та родючості ґрунту в сівозмінах. Київ : Аграрна наука, 2015. 207 с.
10. Заришняк А. С., Руцька С. І., Колібабчук Т. В. Добрива, врожайність та винос елементів живлення. *Цукрові буряки*. 2002. № 1. С. 6–7.
11. Заришняк А. С., Іваніна В. В., Колібабчук Т. В. Стабілізація біогенного балансу та продуктивність зерно-бурякової сівозміни. *Вісник аграрної науки*. 2012. № 4. С. 26–30.
12. Карпусь М. М., Славов В. П., Лапа М. А. Деталізована поживність кормів зони Лісостепу України. Київ : Аграрна наука, 1995. 348 с.

References

1. Bezuglyi, M. D., Zaryshniak, A. S., Lisovyi, M. M., & Sedilo, H. M. (2010). Optimization of the main links of agriculture in the western region of Ukraine. *Herald of Agrarian Science*, 2, 5–10. [In Ukrainian]
2. Baliuk, S. A., Medvediev, V. V., & Tarariko O. G. (2010). *On the state of soil fertility of Ukraine: National report*. Kyiv. [In Ukrainian]
3. Tsvey, Ya. P., & Shymanska, N. K. (2000). Agroecological assessment of the balance of the grain-beet crop rotation fertilization system of the Forest Steppe of Ukraine. *Collection of Scientific Works of the Institute of Agroecology and Biotechnology of the Ukrainian Academy of Sciences*, 4, 92–98. [In Ukrainian]
4. Tsvey, Ya. P., Petrova, O. T., & Klimchuk, S. M. (2008). Nutrient balance in forest-steppe crop rotations. *Scientific Bulletin of the National Agrarian University*, 129, 239–244. [In Ukrainian]
5. Chen, J., Li, J., Yang, X., Wang, C., Zhao, L., Zhang, P., Zhang, H., Wang, Y., & Li, C. (2023). The Effects of Biochar-Based Organic Fertilizer and Mineral Fertilizer on Soil Quality, Beet Yield, and Sugar Yield. *Agronomy*, 13, Article 2423. doi: 10.3390/agronomy13092423
6. Martyniuk, S., Pikuła, D., & Kozieł, M. (2019). Soil properties and productivity in two long-term crop rotations differing with respect to organic matter management on an Albic Luvisol. *Scientific Report*, 9, Article 1878. doi: 10.1038/s41598-018-37087-4
7. Saiko, V. F. (2009). Fertilizing use of plant by-products in Ukraine. *Agriculture*, 81, 3–9. [In Ukrainian]
8. Liu, D. L., Zeleke, K. T., Wang, B., Macadam, I., Scott, F., & Martin, R. J. (2017). Crop residue incorporation can mitigate negative climate change impacts on crop yield and improve water use efficiency in a semiarid environment. *European Journal of Agronomy*, 85, 51–68. doi: 10.1016/j.eja.2017.02.004
9. Zaryshnyak, A. S., Tsvey, Ya. P., & Ivanina, V. V. (2015). Optimization of fertilization and soil fertility in crop rotations. Kyiv: Agrarian Science. [In Ukrainian]
10. Zaryshniak, A. S., Rutska, S. I., & Kolibabchuk, T. V. (2002). Fertilizers, yield and removal of nutrients. *Sugar Beet*, 1, 6–7 [In Ukrainian]
11. Zaryshniak, A. S., Ivanina, V. V., & Kolibabchuk, T. V. (2012). Stabilization of the biogenic balance and productivity of grain-beet crop rotation. *Herald of Agrarian Science*, 4, 26–30. [In Ukrainian]
12. Karpus, M. M., Slavov, V. P., & Lapa, M. A. (1995). Detailed nutrition of fodder in the forest-steppe zone of Ukraine. Kyiv: Agrarian Science. [In Ukrainian]

UDC 631.816:631.452

Ivanina, V. V.*, & **Prokopiuk, T. P.** (2024). Nutrient balance and productivity of crop rotations as affected by their structure and fertilisation. *Advanced Agritechnologies*, 12(3). <https://doi.org/10.47414/na.12.3.2024.315944> [In Ukrainian]

Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine,
**e-mail: v_ivanina@ukr.net*

Purpose. To investigate the influence of fertilisation systems on the productivity of short crop rotations and the formation of the balance of nutrients in the soil. **Methods.** Long-term field and analytical. **Results.** The productivity of crop rotations and the balance of nutrients in the soil depending on their structure and fertilisation systems are presented. It was established that organic-mineral fertilisation systems formed the highest fodder productivity of crop rotations and the best indicators of the balance of nutrients in the soil. **Conclusions.** Application of $N_{53}P_{42}K_{42} + 6.7$ t of manure per 1 ha of arable land in crop rotation provided the highest fodder productivity of 9.2 t/ha with an advantage over control without fertilisers of 3.8 t per 1 ha of crop rotation area. The application of conventional and alternative organic-mineral fertilisation systems was determined to be effective in row crop rotation: the productivity of crop rotation was 8.4 and 8.3 tons of fodder units per 1 ha of crop rotation area, respectively. Organic-mineral fertilisation systems formed an optimal balance of nitrogen in grass and grain and row crop rotations with the intensity of the balance of 94–95% and 100–103%, respectively. In the grain and row crop rotation, the nitrogen balance was negative at the intensity of 82–84%. In all crop rotations, the combined application of organic and mineral fertilisers contributed to the accumulation of phosphorus in the soil and formed a positive phosphorus balance at an intensity of 103–115%. None of the fertilisation systems provided a positive balance of potassium in the soil. The best indicators of potassium balance in crop rotations were formed by applying $N_{53}P_{42}K_{42}$ per 1 ha of arable land + by-products with a potassium deficit of 33–41 kg/ha of the crop rotation area and the intensity of its balance of 73–78%.

Keywords: *fertilisers; nutrients; balance; crop rotation; productivity.*

Надійшла / Received 01.11.2024
Погоджено до друку / Accepted 18.11.2024