

ВИНЕСЕННЯ ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЖИВЛЕННЯ З УРОЖАЄМ І БАЛАНС ЇХ У ҐРУНТІ ПІД ПОСІВАМИ ПШЕНИЦІ ТВЕРДОЇ ОЗИМОЇ ЗА РІЗНОГО УДОБРЕННЯ

В. П. КАРПЕНКО, доктор сільськогосподарських наук

Г. М. ГОСПОДАРЕНКО, доктор сільськогосподарських наук

В. В. ЛЮБИЧ, доктор сільськогосподарських наук

В. О. КАЛАНТИР, доктор філософії

Уманський національний університет

Проаналізовано винесення основних елементів живлення з урожаєм і баланс їх у ґрунті під посівами пшениці твердої озимої за різного удобрення. Встановлено, що на господарське винесення азоту пшеницею твердою озимою найбільше впливає застосування азотних добрив у дозі 150 кг/га д. р., підвищуючи його на 53,8–72,0 кг/га, тоді як фосфорних (P_{30-60}) – на 9,6–15,3 і калійних добрив (K_{40-80}) – на 2,2–5,6 кг/га залежно від варіанту дослідів. Азотні добрива сприяють також підвищенню винесення фосфору на 9,1–11,3 кг/га і калію – на 17,6–23,6 кг/га залежно від варіанту дослідів.

Ключові слова: елементи живлення, удобрення, пшениця тверда озима, винесення елементів живлення, баланс.

Вступ. В агрохімічних розрахунках потребу рослин у елементах живлення зазвичай визначають з урахуванням їх господарського винесення [1]. Це показник менший за біологічну потребу сільськогосподарських культур упродовж вегетаційного періоду, оскільки значна частина засвоєних елементів живлення повертається в ґрунт з опадами і кореневими виділеннями, накопичується в кореневій системі й післязбиральних рештках [2]. При цьому вважають, що для формування запланованого врожаю внесенням добрив потрібно покрити господарське їх винесення товарною і нетоварною продукцією, а решту елементів живлення рослини візьмуть з ґрунту [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Господарське винесення елементів живлення залежить від багатьох чинників, тому для практичного використання в агрохімічних розрахунках зазвичай використовують величину їх винесення на одиницю основної продукції з урахуванням відповідної кількості нетоварної частини урожаю [4]. Зазвичай висока стабільність цього показника пояснюється генетичними законами постійності біохімічного складу рослинного організму та вибірковою здатністю поглинати необхідні елементи живлення у певних співвідношеннях [5]. Засвоєння елементів живлення для формування одиниці врожаю залежить від багатьох чинників і в однієї і тієї самої сільськогосподарської культури може змінюватися в значних межах [6].

За оптимальний показник відносного винесення елементів живлення рекомендується приймати дані, які відповідають максимально високоякісному

врожаю [7], оскільки за поліпшення мінерального живлення створюються умови для засвоєння елементів живлення та росту й розвитку рослин. Виходячи з цих позицій, для розрахунку доз добрив і балансу елементів живлення в ґрунті для пшениці твердої озимої за вирощування на чорноземі опідзоленому в умовах Правобережного Лісостепу необхідно брати такі показники винесення на 1 т зерна та відповідної кількості соломи, кг: азоту – 37,3, P_2O_5 – 13,7 і K_2O – 28,6. При цьому необхідно зазначити, що витрати поживних речовин збільшуються порівняно з неудобреними ділянками, а також мають певні відмінності порівняно з іншими підвидами і сортами пшениці, що вирощувалася на цьому підтипі чорнозему. Так, за даними [8] пшениця озима виносить, кг: азоту – 35,0, P_2O_5 – 12,2 і K_2O – 30,5; пшениця м'яка яра, кг: азоту – 32,4, P_2O_5 – 10,2 і K_2O – 23,3; пшениця спельта озима, кг: азоту – 47,5, P_2O_5 – 10,5 і K_2O – 15,1. За узагальненими даними Географічної мережі дослідів пшениця озима в Лісостепу України з 1 т зерна та відповідною кількістю соломи виносить 32,4 кг азоту, 11,2 – P_2O_5 і 23,7 кг K_2O .

Отже, добрива діють на тлі генетичної спадковості і слабше впливають на цей показник, тому постійно потрібно уточнювати показники відносного винесення поживних речовин одиницею врожаю відповідно з якістю ґрунту, удобренням і сортозміною.

Агроценози у порівнянні з біоценозами зазвичай мають вищу продуктивність, що підвищує інтенсивність колообігу та ємність балансу поживних речовин у ґрунті [9]. Тому оптимальне удобрення сільськогосподарських культур гармонійно вписується в колообіг поживних речовин, а раціональна система удобрення повинна забезпечувати урівноважений, а за необхідності і додатний їх баланс. Ці дані є однією з основних складових теорії застосування добрив, програмування врожаю та прогнозування рівня родючості ґрунту [10].

Мета. Визначити винесення основних елементів живлення з урожаєм і баланс їх у ґрунті під посівами пшениці твердої озимої за різного удобрення.

Методика досліджень. Експериментальну частину досліджень проведено в умовах Правобережного Лісостепу України у стаціонарному польовому досліді з географічними координатами за Гринвічем $48^\circ 46'$ північної широти і $30^\circ 14'$ східної довготи, закладеному у 2011 році на дослідному полі Уманського НУС упродовж 2020–2022 рр. Дослід одночасно розгорнутий на чотирьох полях, що дає змогу щорічно отримувати дані врожайності всіх культур сівозміни (пшениця озима, кукурудза, ячмінь ярий, соя). Повторення дослідів триразове. Площа облікової ділянки 25 м^2 . Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем опідзолений важкосуглинковий на лесі з вмістом гумусу 3,8 %, вміст азоту легкогідролізованих сполук – низький, рухомих сполук фосфору та калію – підвищений, pH_{KCl} – 5,7.

У варіанті дослідів виробничого контролю ($N_{150}P_{60}K_{80}$) доза добрив розрахована за господарським винесенням основних елементів живлення культурами сівозміни. Схему дослідів складено так, щоб за результатами проведених дослідів можна було визначити можливість зниження доз окремих видів мінеральних добрив і визначити оптимальне їх поєднання як у

сівозміні, так і під окремі культури.

Схема застосування добрив у польовій сівозміні під пшеницю тверду озиму (сорт Андромеда) включала такі варіанти: без добрив (контроль), N_{75} , N_{150} , $P_{60}K_{80}$, $N_{150}K_{80}$, $N_{150}P_{60}$, $N_{75}P_{30}K_{40}$, $N_{150}P_{60}K_{80}$, $N_{150}P_{30}K_{40}$, $N_{150}P_{60}K_{40}$, $N_{150}P_{30}K_{80}$. Відповідно до схеми досліду фосфорні та калійні добрива вносяться під зяблевий обробіток ґрунту, азотні – під передпосівну культивування та в підживлення. Нетоварна частина врожаю культур сівозміни (солома, стебелиння) залишається на полі на добриво. Визначали господарське винесення азоту, фосфору та калію з урожаєм зерна та соломи. Після цього визначали їх баланс у ґрунті.

Результати досліджень. Дослідженнями встановлено, що господарське винесення елементів живлення пшеницею твердою озимою залежить від хімічного складу рослин, рівня врожаю та його структури (табл. 1).

Табл. 1. Господарське винесення основних елементів живлення пшеницею твердою озимою залежно від удобрення (2020–2022 рр.), кг/га

Варіант досліджу	Винесення зерном (над рискою) і соломою (під рискою)			Господарське винесення зерном і соломою		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Без добрив (контроль)	<u>84,6</u> 30,1	<u>26,4</u> 19,1	<u>19,5</u> 58,6	114,7	45,5	78,1
N_{75}	<u>110,8</u> 38,7	<u>31,2</u> 23,4	<u>22,7</u> 73,0	149,5	54,6	95,7
N_{150}	<u>121,6</u> 46,9	<u>33,1</u> 25,0	<u>23,3</u> 80,8	168,5	58,1	104,1
$P_{60}K_{80}$	<u>91,3</u> 31,4	<u>31,4</u> 22,0	<u>22,3</u> 68,4	122,7	53,4	90,7
$N_{150}K_{80}$	<u>124,8</u> 46,6	<u>33,9</u> 23,3	<u>26,4</u> 100,2	171,4	57,2	126,6
$N_{150}P_{60}$	<u>130,0</u> 51,1	<u>39,9</u> 27,1	<u>25,3</u> 93,9	181,1	67,0	119,2
$N_{75}P_{30}K_{40}$	<u>117,6</u> 41,5	<u>35,8</u> 23,6	<u>25,1</u> 90,6	159,1	59,4	115,7
$N_{150}P_{60}K_{80}$	<u>135,0</u> 51,7	<u>41,5</u> 27,0	<u>28,5</u> 114,3	186,7	68,5	142,8
$N_{150}P_{30}K_{40}$	<u>128,4</u> 47,2	<u>37,5</u> 25,6	<u>26,5</u> 106,6	175,6	63,1	133,1
$N_{150}P_{60}K_{40}$	<u>132,4</u> 50,9	<u>41,0</u> 27,6	<u>27,2</u> 108,1	183,3	68,6	135,3
$N_{150}P_{30}K_{80}$	<u>129,7</u> 53,0	<u>39,7</u> 27,0	<u>26,6</u> 110,1	182,7	66,7	136,7

Встановлено, що з урожаєм зерна виноситься значно більше азоту (84,6–135,0 кг/га), ніж фосфору й калію разом узятих – відповідно 26,4–41,5 і 19,5–

28,5 кг/га. Судячи з парних комбінацій основних елементів живлення, внесення азотних добрив підвищує винесення азоту зерном на 49 %, тоді як фосфору – на 32, а калію – на 28 %. При цьому застосування фосфорних добрив підвищувало винесення фосфору зерном на 22 %, а азоту й калію – на 8 %.

З урожаєм соломи пшениця озима виносить більше калію, порівняно з азотом і фосфором. За внесення повного мінерального добрива (варіант N₁₅₀P₆₀K₈₀) винесення азоту, фосфору й калію відповідно зростало порівняно з неудобреними ділянками відповідно на 72 %; 41 і 95 %. Це свідчить про те, що рослини пшениці твердої озимої ефективніше розподіляють фосфор між зерном і соломою, порівняно з азотом і калієм. На господарське винесення азоту найбільше впливало застосування азотних добрив у дозі 150 кг/га д. р., підвищуючи його на 53,8–72,0 кг/га, тоді як фосфорних (P_{30–60}) – на 9,6–15,3 і калійних добрив (K_{40–80}) – на 2,2–5,6 кг/га залежно від варіанту дослідів. Азотні добрива сприяли також підвищенню господарського винесення фосфору на 9,1–11,3 кг/га і калію – на 17,6–23,6 кг/га залежно від варіанту дослідів.

Як показали проведені розрахунки за результатами польових і лабораторних досліджень, різниця між відносним винесенням одиницею зерна пшениці твердої озимої та відповідною кількістю соломи на неудобрених і удобрених ділянках становила для азоту 26 %, фосфору – 17 і калію – 34 %. Розрахунки показали, що частка азоту від суми N + P₂O₅ + K₂O в урожаї зерна становило 63–68 %, фосфору – 18–22 і калію 13–15 % залежно від варіанту дослідів (табл. 2).

Табл. 2. Частка основних елементів живлення від суми господарського їх винесення пшеницею твердою озимою залежно від удобрення, 2020–2022 рр.

Варіант дослідів	Частка від суми господарського винесення, %					
	зерном			соломою		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Без добрив (контроль)	65	20	15	28	18	54
N ₇₅	67	19	14	29	17	54
N ₁₅₀	68	19	13	31	16	53
P ₆₀ K ₈₀	63	22	15	26	18	56
N ₁₅₀ K ₈₀	67	18	14	27	14	59
N ₁₅₀ P ₆₀	67	20	13	30	16	55
N ₇₅ P ₃₀ K ₄₀	66	20	14	27	15	58
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₈₀	66	20	14	27	14	59
N ₁₅₀ P ₃₀ K ₄₀	67	19	14	26	14	59
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₄₀	66	20	14	27	15	58
N ₁₅₀ P ₃₀ K ₈₀	66	20	14	28	14	58

При цьому в урожаї соломи ці показники різняться – азоту 26–31 %, фосфору – 14–18 і калію – 53–59 % залежно від варіанту дослідів. За внесення повного мінерального добрива в зерні накопичується 72–74 % азоту, 58–61 %

фосфору та 19–25 % калію від його господарського винесення. Отже, із залишеною на полі соломою пшениці твердої озимої можна повернути у ґрунт 30 % азоту, 40 – фосфору і 75–80 % калію, що брали участь у формуванні господарського її урожаю. Порівняно із вмістом у зерні й соломі, відношення $N : P_2O_5 : K_2O$ в господарському винесенні врожаєм з ділянок без добрив становило 1 : 0,40 : 0,68, тоді як за внесення повного добрива ($N_{150}P_{60}K_{80}$) – 1 : 0,37 : 0,76. Тобто на одиницю внесеного азоту витрачається менше фосфору, але більше калію. Це досить важливо з агрохімічного погляду, оскільки економляться фосфорні добрива, а калій із соломою зазвичай повертається у ґрунт у вигляді добрив.

Розрахунки показали, що частка основних елементів живлення від їх суми у господарському винесенні врожаєм також змінюється в певних межах – азоту від 46 до 51 %, фосфору – від 16 до 20 і калію від 32 до 36 % залежно від удобрення. При цьому на ділянках з внесенням лише азотних добрив збільшувалась частка азоту в господарському винесенні з 48 до 50–51 %, тоді як фосфору і калію зменшувалась відповідно з 19 до 18 і з 33 до 32 %. За внесення лише фосфорних і калійних добрив (варіант $N_{150}K_{80}$) частка фосфору знижувалась з 19 до 16 %, а частка калію зростала з 33 до 36 % порівняно з контролем. Необхідно також зазначити, що за різних доз і поєднань елементів живлення в повному мінеральному добриві частка азоту, фосфору й калію від їх суми господарського винесення змінювалась неістотно і відповідно становила: азоту – 47–48 %, фосфору – 17–18 і калію – 35–36 %.

Наявність у схемі польового дослідження варіантів з неудобреними ділянками, внесенням лише азотних добрив і парних комбінацій основних елементів живлення дозволяє розрахувати коефіцієнти їх використання з різних видів мінеральних добрив і за різних їх доз внесення різницею методом (табл. 3).

Табл. 3. Коефіцієнт використання основних елементів живлення пшеницею твердою озимою з мінеральних добрив (2020–2022 рр.), %

Варіант дослідження	Господарське винесення		
	N	P_2O_5	K_2O
N_{75}	46,4	–	–
N_{150}	35,9	–	–
$P_{60}K_{80}$	–	13,2	15,8
$N_{150}K_{80}$	37,8	–	28,1
$N_{150}P_{60}$	44,3	14,8	–
$N_{75}P_{30}K_{40}$	59,2	16,0	51,5
$N_{150}P_{60}K_{80}$	42,7	18,8	29,5
$N_{150}P_{30}K_{40}$	40,6	19,7	34,8
$N_{150}P_{60}K_{40}$	45,7	19,0	40,3
$N_{150}P_{30}K_{80}$	45,3	31,7	21,9

Примітка. За відсутності в схемі дослідження варіантів з відповідними парними комбінаціями основних елементів живлення розрахунок їх використання з добрив проводили у порівнянні з їх винесенням у варіанті дослідження Без добрив (контроль).

Як видно з даних табл. 3, коефіцієнт використання азоту був найвищим за внесення половинної дози повного мінерального добрива ($N_{75}P_{30}K_{40}$) – 59,2 % і знижувався до 35,9–46,4 % в інших варіантах досліду. Коефіцієнт використання фосфору з добрив у цьому варіанті досліду становив 18,8 % і підвищувався до 31,7 % зі зменшенням дози внесення фосфорних добрив удвічі (варіант $N_{150}P_{30}K_{80}$). Ефективність використання калію з добрив значно залежала від дози калійних і особливо азотних добрив. Так, добавляння до $P_{60}K_{80}$ азотної складової у дозі 150 кг/га д. р. сприяло підвищенню коефіцієнта використання калію з добрив майже вдвічі – з 15,8 до 29,5 %. Найвищі коефіцієнти використання калію з добрив були за повного удобрення і внесення його в дозі 40 кг/га – 34,8–51,5 %.

Для розрахунку балансу поживних речовин у ґрунті та прогнозування зміни його родючості важливо мати дані винесення елементів живлення з нетоварною продукцією урожаю. Як показали проведені розрахунки, в 1 т соломи пшениці твердої озимої міститься 4,1–5,1 кг азоту, 2,3–2,8 кг P_2O_5 і 8,0–10,6 кг K_2O . При цьому за внесення повного мінерального добрива (варіант $N_{150}P_{60}K_{80}$) порівняно з неудобреними ділянками винесення азоту і калію зростає відповідно на 17 і 33 %, тоді як фосфору знижується на 4 %.

Винесення азоту з 1 т зерна в більшій мірі залежить від внесення азотних добрив, ніж фосфорних і калійних (табл. 4).

Табл. 4. Відносне винесення основних елементів живлення зерном і соломною пшениці твердої озимої залежно від удобрення (2020–2022 рр.), кг/т

Варіант досліду	Відносне винесення					
	зерном			зерном і відповідною кількістю соломи		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Без добрив (контроль)	22,1	6,9	5,1	30,0	11,9	20,4
N_{75}	24,9	7,0	5,1	33,6	12,3	21,5
N_{150}	26,1	7,1	5,0	36,2	12,5	22,3
$P_{60}K_{80}$	22,1	7,6	5,4	29,7	12,9	22,0
$N_{150}K_{80}$	26,5	7,2	5,6	36,4	12,1	26,9
$N_{150}P_{60}$	26,7	8,2	5,2	37,2	13,8	24,5
$N_{75}P_{30}K_{40}$	25,3	7,7	5,4	34,2	12,8	24,9
$N_{150}P_{60}K_{80}$	27,0	8,3	5,7	37,3	13,7	28,6
$N_{150}P_{30}K_{40}$	26,7	7,8	5,5	36,5	13,1	27,7
$N_{150}P_{60}K_{40}$	26,8	8,3	5,5	37,1	13,9	27,4
$N_{150}P_{30}K_{80}$	26,8	8,2	5,5	37,8	13,8	28,3

Як видно з даних табл. 4, завдяки поліпшенню азотного живлення рослин винесення азоту в зерні можна підвищити з 22,1 до 27,0 кг/т, або на 22 %. Винесення фосфору в зерні також змінювався залежно від удобрення, особливо фосфорними добривами, – на 20 %. Винесення калію в зерні змінювався від 20,4

до 28,6 кг/т залежно від варіанту дослідів, або на 40 %.

Проведені розрахунки показали, що солома пшениці твердої озимої є важливим джерелом у формуванні балансу елементів живлення у ґрунті (табл. 5).

Табл. 5. Баланс основних елементів живлення за вирощування пшениці твердої озимої залежно від удобрення (2020–2022 рр.), кг/га

Варіант дослідів	Баланс за умови					
	видалення соломи з поля			залишення соломи на полі		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Без добрив (контроль)	-114,7	-45,5	-78,1	-84,6	-26,4	-19,5
N ₇₅	-74,5	-54,6	-95,7	-35,8	-31,2	-22,7
N ₁₅₀	-18,5	-58,1	-104,1	28,4	-33,1	-23,3
P ₆₀ K ₈₀	-122,7	6,6	-10,7	-91,3	28,6	57,7
N ₁₅₀ K ₈₀	-21,4	-57,2	-46,6	25,2	-33,9	53,6
N ₁₅₀ P ₆₀	-31,1	-7,0	-119,2	20,0	20,1	-25,3
N ₇₅ P ₃₀ K ₄₀	-84,1	-29,4	-75,7	-42,6	-5,8	14,9
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₈₀	-36,7	-8,5	-62,8	15,0	18,5	51,5
N ₁₅₀ P ₃₀ K ₄₀	-25,6	-33,1	-93,1	21,6	-7,5	13,5
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₄₀	-33,3	-8,6	-95,3	17,6	19,0	12,8
N ₁₅₀ P ₃₀ K ₈₀	-32,7	-36,7	-30,1	20,3	-9,7	53,4

За її видалення з поля під час збирання врожаю в усіх варіантах дослідів складався від'ємний баланс основних елементів живлення, за виключенням фосфору у варіанті дослідів P₆₀K₈₀, де він був додатним (+ 6,6 кг/га P₂O₅). За умови залишення соломи на полі на добриво і внесення азотних добрив у дозі 150 кг/га д. р. баланс азоту був додатним – +15,0...28,4 кг/га залежно від варіанту дослідів. Додатний баланс фосфору з показником +18,5 кг/га у варіанті дослідів N₁₅₀P₆₀K₈₀ забезпечувало внесення фосфорних добрив дозі 60 кг/га д. р., тоді як калію – + 12,8 кг/га у варіанті N₁₅₀P₆₀K₄₀.

Інтенсивність балансу основних елементів живлення значно змінювалась залежно від системи удобрення пшениці твердої озимої. Так, за умови видалення соломи з поля додатним був лише баланс фосфору за фосфорно-калійної системи удобрення (табл. 6). Інтенсивність балансу за решти систем удобрення для основних елементів живлення була меншою від 100 %. За умови залишення соломи на полі інтенсивність балансу для азоту була вищою від 100 % крім систем із застосування найменшої дози азотних добрив. Цей показник був нижчим від 100 % для фосфору за умови неповного його повернення з добривами. Інтенсивність балансу калію була вищою від 100 %.

Відомо, що екологічно безпечна інтенсивність балансу азоту, фосфору і калію відповідно становить 120, 130 і 70 % [11]. Отже, інтенсивність балансу для азоту та фосфору за доз добрив, що вивчалися в досліді, була в межах екологічно безпечної норми. При цьому цей показник для калію був вище екологічно безпечного показника незалежно від дози калійних добрив.

Табл. 6. Інтенсивність балансу основних елементів живлення за вирощування пшениці твердої озимої залежно від удобрення (2020–2022 рр.), %

Варіант досліджу	Інтенсивність балансу за умови					
	видалення соломи з поля			залишення соломи на полі		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Без добрив (контроль)	0	0	0	0	0	0
N ₇₅	50	0	0	68	0	0
N ₁₅₀	89	0	0	123	0	0
P ₆₀ K ₈₀	0	112	88	0	191	359
N ₁₅₀ K ₈₀	88	0	63	120	0	303
N ₁₅₀ P ₆₀	83	90	0	115	150	0
N ₇₅ P ₃₀ K ₄₀	47	51	35	64	84	159
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₈₀	80	88	56	111	145	281
N ₁₅₀ P ₃₀ K ₄₀	85	48	30	117	80	151
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₄₀	82	87	30	113	146	147
N ₁₅₀ P ₃₀ K ₈₀	82	45	59	116	76	301

Висновки. На господарське винесення азоту пшеницею твердою озимою найбільше впливає застосування азотних добрив у дозі 150 кг/га д. р., підвищуючи його на 53,8–72,0 кг/га, тоді як фосфорних (P_{30–60}) – на 9,6–15,3 і калійних добрив (K_{40–80}) – на 2,2–5,6 кг/га залежно від варіанту досліджу. Азотні добрива сприяють також підвищенню винесення фосфору на 9,1–11,3 кг/га і калію – на 17,6–23,6 кг/га залежно від варіанту досліджу.

Частка азоту від суми N + P₂O₅ + K₂O в урожаї зерна становить 63–68 %, фосфору – 18–22 і калію 13–15 % залежно від варіанту досліджу. При цьому в урожаї соломи ці показники різняться – відповідно 26–31 %, 14–18 і 53–59 % залежно від варіанту досліджу. Коефіцієнт використання азоту пшеницею твердою озимою з добрив був найвищим у варіанті N₇₅P₃₀K₄₀ – 59,2 % і знижувався до 35,9–46,4 % в інших варіантах досліджу, а фосфору – 18,8 % і підвищувався до 31,7 % у варіанті N₁₅₀P₃₀K₈₀. Ефективність використання калію з добрив значно залежить від дози калійних і особливо азотних добрив. Найвищий коефіцієнт використання калію з добрив був за повного удобрення і внесення його в дозі 40 кг/га – 34,8–51,5 %.

Для розрахунку балансу елементів живлення в ґрунті і доз добрив під пшеницю тверду озиму за вирощування на чорноземі опідзоленому в умовах Правобережного Лісостепу необхідно брати такі показники винесення на 1 т зерна та відповідної кількості соломи, кг: азоту – 37,3, P₂O₅ – 13,7 і K₂O – 28,6.

За умови залишення врожаю соломи пшениці твердої озимої на полі на добриво і внесення азотних добрив у дозі 150 кг/га д. р. баланс азоту складається додатним – +15,0...28,4 кг/га залежно від варіанту досліджу. Додатний баланс фосфору з показником +18,5 кг/га у варіанті досліджу N₁₅₀P₆₀K₈₀ забезпечує внесення фосфорних добриву дозі 60 кг/га д. р., тоді як калію – + 12,8 кг/га у варіанті N₁₅₀P₆₀K₄₀.

Література:

1. Балюк С. А., Медведєв В. В., Носко Б. С. Адаптація агротехнологій до змін клімату: ґрунтово-агрохімічні аспекти. Харків: Стильна типографія, 2018. 364 с.
2. Marschner P. 2012. Marschner's mineral nutrition of higher plants. Third edition. Elsevier Academic Press, Netherlands. 684 p.
3. Господаренко Г. М., Любич В. В., Олійник О. О. Анізотропні властивості питомої активності радіонуклідів ґрунту та зерна пшениці м'якої озимої за тривалого застосування добрив. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. 2022. Вип. 100. С. 242–252.
4. Господаренко Г. М., Любич В. В., Бурляй О. Л., Притуляк Р. М. Агрохімічні властивості чорнозему опідзоленого за різних доз азотних добрив і їх поєднання з іншими видами мінеральних добрив. *Аграрні інновації*. 2022. №14. С. 18–22.
5. Господаренко Г. М., Любич В. В., Леонова К. П. Агрохімічні параметри родючості чорнозему опідзоленого та врожайність кукурудзи залежно від вапнування і удобрення. *Таврійський науковий вісник*. 2022. № 126. С. 22–28.
6. Baldock J. A., Hawke B., Sanderman J., Macdonald L. M. Predicting contents of carbon and its component fractions in Australian soils from diffuse reflectance mid-infrared spectra. *Soil Res*. 2013. Vol. 51. P. 577–595.
7. Gong H. J., Chen K. M., Chen G. C., Wang S. M., Zhang C. L. Effects of silicon on growth of wheat under drought. *J. Plant Nutr*. 2003. Vol. 26 (5). P. 1055–1063.
8. Агрохімічна складова технології вирощування буряку цукрового / Г. М. Господаренко, Л. В. Вишневецька, А. Т. Мартинюк та ін. ; за заг. ред. Г. М. Господаренка. Київ : ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2020. 308 с.
9. Любич В. В., Железна В. В. Хлібопекарські властивості зерна пшениці спельти залежно від удобрення і тривалості зберігання. *Агробіологія*. 2021. №1. С. 75–84.
10. Любич В. В. Хлібопекарські властивості зерна сортів пшениці озимої залежно від видів, норм і строків застосування азотних добрив. *Вісник Дніпропетровського ДАЕУ*. 2017. №2. С. 35–41.
11. Любич В. В. Продуктивність сортів і ліній пшениць залежно від абіотичних і біотичних чинників. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2017. Вип. 95. С. 146–161.

References:

1. Balyuk, S. A., Medvediev, V. V., Nosko, B. S. (2018). *Adaptation of agrotechnologies to climate change: Soil-agrochemical aspects*. Kharkiv: Stylish Typography. 364 p. [in Ukrainian].
2. Marschner, P. (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (3rd ed.). Elsevier Academic Press, Netherlands. 684 p.
3. Hospodarenko, H. M., Liubych, V. V., Oliinyk, O. O. (2022). Anisotropic properties of specific activity of radionuclides in soil and winter wheat grain under

long-term fertilizer application. *Collected Scientific Works of Uman National University of Horticulture*, iss. 100, pp. 242–252. [in Ukrainian].

4. Hospodarenko, H. M., Liubych, V. V., Burliai, O. L., Prytuliak, R. M. (2022). Agrochemical properties of podzolized chernozem under different nitrogen fertilizer rates and their combinations with other mineral fertilizers. *Agrarian Innovations*, no. 14, pp. 18–22. [in Ukrainian].

5. Hospodarenko, H. M., Liubych, V. V., Leonova, K. P. (2022). Agrochemical parameters of podzolized chernozem fertility and maize yield depending on liming and fertilization. *Tavriya Scientific Bulletin*, no. 126, pp. 22–28. [in Ukrainian].

6. Baldock, J. A., Hawke, B., Sanderman, J., Macdonald, L. M. (2013). Predicting contents of carbon and its component fractions in Australian soils from diffuse reflectance mid-infrared spectra. *Soil Research*, no. 51, pp. 577–595.

7. Gong, H. J., Chen, K. M., Chen, G. C., Wang, S. M., Zhang, C. L. (2003). Effects of silicon on growth of wheat under drought. *Journal of Plant Nutrition*, no. 26(5), pp. 1055–1063.

8. Hospodarenko, H. M., Vyshnevskaya, L. V., Martyniuk, A. T., et al. (2020). *Agrochemical component of sugar beet cultivation technology* (H. M. Hospodarenko, Ed.). Kyiv: SIC Group Ukraine. 308 p. [in Ukrainian].

9. Liubych, V. V., Zhelezna, V. V. (2021). Baking properties of spelt wheat grain depending on fertilization and storage duration. *Agrobiology*, no. 1, pp. 75–84. [in Ukrainian].

10. Liubych, V. V. (2017). Baking properties of winter wheat varieties depending on types, rates, and timing of nitrogen fertilizer application. *Bulletin of Dnipro State Agrarian and Economic University*, no. 2, pp. 35–41. [in Ukrainian].

11. Liubych, V. V. (2017). Productivity of wheat varieties and lines depending on abiotic and biotic factors. *Bulletin of Agricultural Science of the Black Sea Region*, no. 95, pp. 146–161. [in Ukrainian].

Annotation

Karpenko V. P., Hospodarenko H. M., Liubych V. V., Kalantyr V. O.

Removal of Major Nutrients with the Yield and Their Balance in Soil under Winter Durum Wheat Crops under Different Fertilization Conditions

Purpose. To determine the removal of major nutrients with the yield and their balance in the soil under winter durum wheat crops under different fertilization conditions.

Methods. Field, calculation, comparative, analytical, and statistical methods.

Results. The removal of nitrogen by winter durum wheat was most significantly influenced by the application of nitrogen fertilizers at a rate of 150 kg/ha of active substance, increasing nitrogen uptake by 53.8–72.0 kg/ha. Phosphorus fertilizers (P_{30-60}) increased phosphorus removal by 9.6–15.3 kg/ha, and potassium fertilizers (K_{40-80}) increased potassium removal by 2.2–5.6 kg/ha, depending on the experimental variant. Nitrogen fertilization also contributed to higher phosphorus uptake by 9.1–11.3 kg/ha and potassium uptake by 17.6–23.6 kg/ha.

The share of nitrogen in the total sum of $N + P_2O_5 + K_2O$ in grain yield ranged from 63–68%, phosphorus from 18–22%, and potassium from 13–15%, depending on the treatment. In straw yield, these proportions differed: nitrogen – 26–31%, phosphorus – 14–18%, and potassium – 53–59%. The nitrogen use efficiency from fertilizers by winter durum wheat was highest in the treatment $N_{75}P_{30}K_{40}$ – 59.2%, and decreased to 35.9–46.4% in other treatments. Phosphorus use efficiency ranged from 18.8% to 31.7%, with the highest in the $N_{150}P_{30}K_{80}$ variant. Potassium use efficiency significantly depended on the dose of both potassium and especially nitrogen fertilizers. The highest potassium use efficiency (34.8–51.5%) was observed under complete fertilization with 40 kg/ha of K applied.

Conclusions. To calculate the nutrient balance in the soil and fertilizer rates for winter durum wheat grown on podzolized chernozem in the Right-Bank Forest-Steppe conditions, the following nutrient removal per 1 ton of grain and the corresponding amount of straw (kg) should be considered: nitrogen – 37.3, P_2O_5 – 13.7, and K_2O – 28.6. If the straw yield of winter durum wheat is left in the field as organic fertilizer and nitrogen fertilizers are applied at 150 kg/ha of active substance, the nitrogen balance becomes positive – from +15.0 to +28.4 kg/ha depending on the treatment. A positive phosphorus balance of +18.5 kg/ha is achieved in the $N_{150}P_{60}K_{80}$ variant when phosphorus is applied at 60 kg/ha. A positive potassium balance of +12.8 kg/ha is observed in the $N_{150}P_{60}K_{40}$ variant.

Key words: nutrients, fertilization, winter durum wheat, nutrient removal, balance