

АГРОХІМІЧНІ ПАРАМЕТРИ РОДЮЧОСТІ ЧОРНОЗЕМУ ОПІДЗОЛЕНОГО ПІД ПОСІВАМИ ЯЧМЕНЮ ЯРОГО ГОЛОЗЕРНОГО ЗА РІЗНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ

Г. М. ГОСПОДАРЕНКО, доктор сільськогосподарських наук
В. В. ЛЮБИЧ, доктор сільськогосподарських наук
Р. М. ПРИТУЛЯК, кандидат сільськогосподарських наук
В. С. ГАВРИЛЕНКО, доктор філософії
Уманський національний університет

Застосування мінеральних добрив у сівозміні і безпосередньо під ячмінь голозерний істотно впливає на поживний режим чорнозему опідзоленого. Застосування добрив у досліді підвищує вміст і запаси мінеральних сполук азоту, рухомих сполук фосфору та калію в шарі ґрунту 0–20 см. Найкращий поживний режим ґрунту складався за внесення повного мінерального добрива з високими дозами азотної складової.

Ключові слова: ячмінь ярий голозерний, поживний режим ґрунту, системи удобрення, чорнозем опідзолений, родючість ґрунту.

Постановка проблеми. За реакцією на якість ґрунтів ячмінь більш подібний до пшениці, ніж до жита чи вівса [1]. Він ліпше росте на родючих структурованих ґрунтах з глибоким гумусовим горизонтом, близькою до нейтральної реакцією ґрунтового розчину ($\text{pH}_{\text{сол}}$ 5,6–7,0). Перевагою ячменю перед іншими зерновими є формування вищого врожаю завдяки волозі, накопиченій у верхніх шарах ґрунту в осінньо-зимовий період. Має високу стійкість до посухи і, порівняно з пшеницею ярою, більш скоростиглий. Прирости його врожаю від внесення добрив також вищі, ніж інших зернових культур [2].

На формування продуктивності ячменю ярого впливає низка чинників: природна родючість ґрунту, повітряний, водний, поживний режими, попередники, сорт. Серед них найважливішим є забезпеченість рослин поживними речовинами. Високу продуктивність ячменю ярого можна отримати лише за збалансованого живлення рослин необхідними елементами. Вважається, що для отримання високих його врожаїв у чорноземі опідзоленому має бути 100–150 мг/кг рухомих сполук фосфору і 120–180 мг/кг рухомих сполук калію [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ячмінь ярий, порівняно з іншими зерновими культурами, має короткий період засвоєння поживних речовин. Особливі його вимоги до умов мінерального живлення також пояснюється слабким розвитком кореневої системи на початку росту. До того ж він має слабку здатність засвоювати елементи з важкорозчинних сполук і формувати на початку вегетації колос – через 8–12 діб після з'явлення сходів [4]. Ці біологічні особливості культури і визначають підвищені вимоги до родючості

грунту та умов мінерального живлення на початку вегетації. До закінчення куціння рослини засвоюють близько половини азоту та фосфору і 75 % калію від загальної потреби [5]. Достатнє забезпечення рослин елементами живлення в наступні фази росту й розвитку не дає бажаного ефекту. Добрива є основним чинником відновлення і підвищення родючості ґрунту та забезпечують близько 40 % приросту врожаю [6]. Землеробське використання ґрунту і застосування добрив може змінювати властивості ґрунту. Тому ґрунти, які мають однакову природну родючість, можуть різнитися за ефективною родючістю. Різні сільськогосподарські культури і навіть їх сорти можуть на це реагувати підвищенням або зниженням врожаю та зміною його якості [7].

Азот добрив може вимиватися з кореневмісного шару ґрунту або звітрюватися. З усіх макроелементів він найбільше виноситься з урожаєм і має слабку післядію [8]. Навіть за внесення високих доз мінеральних добрив до 50 % від загального винесення азоту врожаєм рослини засвоюють із ґрунтових запасів [9]. У ґрунт азот надходить з добривами і завдяки біологічній фіксації – симбіотичній і несимбіотичній. Несимбіотична азотфіксація за внесення лише мінеральних добрив не змінюється [10]. Тому забезпеченість рослин азотом залежить не лише від загального його вмісту в ґрунті, але й від внесеного азоту з добривами, що змінює вміст у ньому мінеральних форм – нітратів та обмінного амонію [11]. Вміст нітратів та обмінного амонію в ґрунті є динамічним показником і залежать від багатьох чинників. Тому характеризувати ступінь забезпечення рослин азотом за одноразовим визначенням його вмісту в ґрунті не вдається, а лише визначення динаміки упродовж вегетаційного періоду дає певне уявлення про азотний режим ґрунту [12].

Внесені добрива насамперед змінюють вміст найбільш рухомих фракцій азоту – мінеральних і неспецифічних органічних сполук. На це також впливає збільшення у ґрунті кількості рослинних решток. У співвідношенні азотовмісних сполук важливе значення мають температура й вологість ґрунту, а також вилучення післязбиральних решток, тому вміст азоту мінеральних сполук істотно змінюється не тільки за роками, а й упродовж вегетаційного періоду [13].

На прямий вплив кількості внесеного у ґрунт азоту добрив на вміст мінеральних його сполук вказують результати досліджень низки учених. Вміст азоту мінеральних сполук залежить від температурного режиму і вологості ґрунту, а також інтенсивності протікання мікробіологічних процесів. Поряд з процесами амоніфікації і нітрифікації в ґрунті, проходить засвоєння азоту рослинами і мікроорганізмами, втрати внаслідок денітрифікації [14]. Оптимальне живлення ячменю ярого азотом необхідно забезпечити у першу чергу на ранніх етапах онтогенезу, з деякими обмеженнями його надходження в рослини у кінці вегетації, коли потреби колосків, що ростуть, задовольняються реутилізацією азоту листового апарату [15].

Мета – визначити агрохімічні параметри родючості чорнозему опідзоленого під посівами ячменю ярого голозерного за різних систем удобрення.

Методика досліджень. Дослідження проводили у стаціонарному польовому досліді (№ 87 реєстрації НААН України), що територіально

розміщувався у Правобережному Лісостепу (м. Умань Черкаської обл.) з географічними координатами 48°46' пн. ш. і 30°14' сх. д. і висотою над рівнем моря 245 м. За даним метеостанції Умань, розміщеної за 2 км від дослідів, клімат регіону помірно-континентальний із нестійким зволоженням, холодними умовами взимку і жаркими, а часто і сухим влітку. Середня багаторічна температура повітря становить 8,8 °С, сума опадів – 586 мм. За теплий період (квітня–жовтень) середня температура повітря складає 15,4 °С, а сума опадів – 395 мм. Ґрунт класифікується як чорнозем опідзолений важкосуглинковий на лесі (за класифікацією FAO/WRB, 2014 – Luvic Chernozem).

Дослід одночасно закладено на чотирьох полях у 4-пільній сівозміні (пшениця озима, кукурудза, ячмінь ярий, соя). Набір варіантів дослідів (دوزи і комбінації мінеральних добрив) представлено в табл. 1.

Табл. 1. Схема дослідів

Варіант дослідів (насиченість добривами 1 га площі сівозміни)	Сівозміна			
	Пшениця озима	Кукурудза	Ячмінь ярий	Соя
Без добрив (контроль)	—	—	—	—
N ₅₅	N ₇₅	N ₈₀	N ₃₅	N ₃₀
N ₁₁₀	N ₁₅₀	N ₁₆₀	N ₇₀	N ₆₀
P ₆₀ K ₈₀	P ₆₀ K ₈₀	P ₆₀ K ₁₁₀	P ₆₀ K ₇₀	P ₆₀ K ₆₀
N ₁₁₀ K ₈₀	N ₁₅₀ K ₈₀	N ₁₆₀ K ₁₁₀	N ₇₀ K ₇₀	N ₆₀ K ₆₀
N ₁₁₀ P ₆₀	N ₁₅₀ P ₆₀	N ₁₆₀ P ₆₀	N ₇₀ P ₆₀	N ₆₀ P ₆₀
N ₅₅ P ₃₀ K ₄₀	N ₇₅ P ₃₀ K ₄₀	N ₈₀ P ₃₀ K ₅₅	N ₃₅ P ₃₀ K ₃₅	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀
N ₁₁₀ P ₃₀ K ₄₀	N ₁₅₀ P ₃₀ K ₄₀	N ₁₆₀ P ₃₀ K ₅₅	N ₇₀ P ₃₀ K ₃₅	N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀
N ₁₁₀ P ₆₀ K ₈₀	N ₁₅₀ P ₆₀ K ₈₀	N ₁₆₀ P ₆₀ K ₁₁₀	N ₇₀ P ₆₀ K ₇₀	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀

У варіанті дослідів N₁₁₀P₆₀K₈₀, який було визначено виробничим контролем, насиченість добривами 1 га площі сівозміни розраховано для 100%-го компенсування господарського винесення основних елементів живлення культурами сівозміни. Розміщення варіантів дослідів послідовне з триразовим повторенням. Загальна площа дослідної ділянки 110 м², облікова – 72 м². Відповідно до схеми дослідів застосовували такі види мінеральних добрив: аміачна селітра, суперфосфат гранульований і калій хлористий. Фосфорні та калійні добрива вносили під зяблевий обробіток ґрунту, азотні – під передпосівну культивування та в підживлення пшениці озимої.

У зразках ґрунту, відібраних згідно вимог ДСТУ 4287 : 2004 і ДСТУ ISO 11464 : 2007, визначали такі показники: вміст нітратного та амонійного азоту за ДСТУ 4729 : 2007; рухомі сполуки фосфору й калію – вилученням їх розчином 0,5 Н оцтової кислоти з наступним фотоколориметруванням за модифікованим методом Чирикова згідно з ДСТУ 4115–2002. Математичну обробку цифрового матеріалу проводили методом однофакторного польового дослідів.

Результати досліджень. Як видно з даних табл. 2, вміст азоту мінеральних сполук у ґрунті є досить мінливим показником.

Табл. 2. Динаміка вміст азоту мінеральних сполук ($\text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_4^+$) у шарі ґрунту 0–20 см під посівами ячменю ярого голозерного, мг/кг

Варіант досліджу	Фаза росту та розвитку		
	ВВСН 20	ВВСН 73	ВВСН 93
2021 р.			
Без добрив (контроль)	7,3	3,5	6,1
N ₃₅	19,2	12,9	18,7
N ₇₀	38,1	24,6	29,8
P ₆₀ K ₇₀	7,2	9,1	11,1
N ₇₀ K ₇₀	38,8	25,5	30,5
N ₇₀ P ₆₀	38,7	25,5	30,3
N ₃₅ P ₃₀ K ₃₅	19,8	13,6	19,1
N ₇₀ P ₆₀ K ₇₀	39,4	26,1	30,8
N ₇₀ P ₃₀ K ₃₅	39,1	26,1	30,6
N ₇₀ P ₆₀ K ₃₅	39,1	25,9	30,4
N ₇₀ P ₃₀ K ₇₀	39,4	26,1	30,5
<i>HIP₀₅</i>	1,6	1,1	1,4
2022 р.			
Без добрив (контроль)	8,3	6,9	5,7
N ₃₅	21,1	12,0	12,5
N ₇₀	39,5	20,1	20,4
P ₆₀ K ₇₀	8,1	14,0	9,6
N ₇₀ K ₇₀	39,8	20,6	21,1
N ₇₀ P ₆₀	39,8	20,6	20,8
N ₃₅ P ₃₀ K ₃₅	21,6	12,7	13,0
N ₇₀ P ₆₀ K ₇₀	43,3	21,0	21,3
N ₇₀ P ₃₀ K ₃₅	42,7	20,5	21,1
N ₇₀ P ₆₀ K ₃₅	42,9	20,7	21,2
N ₇₀ P ₃₀ K ₇₀	43,0	20,6	21,1
<i>HIP₀₅</i>	1,8	1,2	1,4
2023 р.			
Без добрив (контроль)	9,5	5,3	9,4
N ₃₅	25,6	10,6	17,2
N ₇₀	43,3	17,8	31,1
P ₆₀ K ₇₀	9,1	5,3	12,0
N ₇₀ K ₇₀	43,4	18,1	31,5
N ₇₀ P ₆₀	43,4	18,1	31,3
N ₃₅ P ₃₀ K ₃₅	26,2	11,0	17,7
N ₇₀ P ₆₀ K ₇₀	43,9	18,7	31,8
N ₇₀ P ₃₀ K ₃₅	43,6	18,5	31,6
N ₇₀ P ₆₀ K ₃₅	43,8	18,2	31,6
<i>HIP₀₅</i>	1,7	1,1	1,4

Він залежить від погодних умов вегетаційного періоду, особливостей удобрення в сівозміні і стадії розвитку рослин ячменю голозерного. Ці зміни були у межах від 3,5 до 43,8 мг/кг. Найбільший вплив азоту мінеральних сполук у ґрунті мали дози внесення азотних добрив. Вплив інших видів мінеральних добрив (фосфорних і калійних) на цей показник був незначним і знаходився у межах помилки досліду ($HP_{05} = 1,1-1,8$). Ця закономірність зберігалася впродовж усього періоду вегетації ячменю ярого голозерного. Найбільший вміст потенційно доступного азоту в ґрунті був на початку вегетації ячменю голозерного. При цьому різниця була і за роками проведення досліджень. Так, у 2023 році на ділянках без добрив вміст азоту мінеральних сполук порівняно з 2021 роком був вищим на 2,2 мг/кг, або на 31 %. Різниця при цьому у варіанті досліду з внесенням повного мінерального добрива в дозі $N_{70}P_{60}K_{70}$ також була 4,4 мг/кг або 11 %. З цього можна зробити висновок, що погода має також істотний вплив на формування азотного режиму ґрунту.

З розвитком рослин вміст азоту мінеральних сполук зменшувався внаслідок інтенсивного поглинання рослинами і мікроорганізмами, а також зниження процесів амоніфікації і нітрифікації за нестачі вологи у ґрунті. У фазу ВВСН 73 ячменю його вміст був меншим, як на ділянках без добрив – на 17–52 %, так і за внесення добрив, наприклад, у варіанті досліду $N_{70}P_{60}K_{70}$ – на 34–57 % залежно від погодних умов року досліджень. Підвищення чи зниження дози внесення азотних добрив неодмінно впливало на запаси азоту мінеральних сполук у ґрунті.

Одержані дані свідчать про інтенсивне засвоєння азоту рослинами у міжфазний період ВВСН 20–73, а також зниження мікробіологічних процесів у ґрунті. У період досягання зерна ячменю ярого у 2021 р. випало 57,3 мм опадів, у 2022 р. – 27,1, а в 2023 р. – 61,4 мм, що впливало на вміст азоту мінеральних сполук у ґрунті. Тому під кінець вегетації вміст азоту мінеральних сполук у ґрунті частково підвищувався, що свідчить про значне зменшення засвоєння його рослинами. При цьому переваги удобрених ділянок залишалися, хоч і знижувалась різниця між варіантами досліду із застосуванням добрив.

Джерелом фосфору для живлення рослин виступає лише ґрунт і внесенні добрива. Вміст фосфору в ґрунтах залежить від ґрунтоутворювальної породи, ступеню її вивітрювання і вмісту в ґрунті органічних речовин. Лише 10–20 % загального фосфору в ґрунті є доступним для рослин, важкодоступний складає 50–60 і 20–40 % є практично недоступним. Внесенні у ґрунт фосфорні добрива піддаються перетворенням з утворенням різних форм мінеральних і органічних фосфатів [16]. Щоб збільшити вміст рухомих сполук фосфору в ґрунті, необхідно їх вносити в дозах, які перевищують винесення його врожаєм, а також фіксацію у вигляді важкорозчинних сполук. У живленні рослин основне значення мають мінеральні сполуки фосфору, які представлені залишками апатиту, фосфориту, солями фосфорних кислот. Вміст потенційно доступного для рослин фосфору залежить від ґрунту, його окультуреності, способів і строків внесення органічних і мінеральних добрив, засвоєння фосфору рослинами упродовж вегетації і біологічними особливостями вирощуваних сільськогосподарських культур.

Аналізуючи дані табл. 3, можна відмітити, що найбільший вміст рухомих сполук фосфору у ґрунті спостерігався на початку вегетації ячменю ярого

голозерного, оскільки у цей період рослини мало їх засвоюють.

Табл. 3. Динаміка вмісту рухомих сполук фосфору в шарі ґрунту 0–20 см під посівами ячменю ярого голозерного, мг P_2O_5 /кг

Варіант дослідів	Фаза росту та розвитку		
	ВВСН 20	ВВСН 73	ВВСН 93
2021 р.			
Без добрив (контроль)	76	70	73
N ₃₅	77	68	69
N ₇₀	73	62	63
P ₆₀ K ₇₀	130	121	123
N ₇₀ K ₇₀	75	61	62
N ₇₀ P ₆₀	128	115	116
N ₃₅ P ₃₀ K ₃₅	112	105	107
N ₇₀ P ₆₀ K ₇₀	125	114	115
N ₇₀ P ₃₀ K ₃₅	111	103	104
N ₇₀ P ₆₀ K ₃₅	124	115	117
N ₇₀ P ₃₀ K ₇₀	112	104	105
<i>HIP₀₅</i>	6	4	4
2022 р.			
Без добрив (контроль)	80	74	77
N ₃₅	75	67	65
N ₇₀	70	60	58
P ₆₀ K ₇₀	131	123	122
N ₇₀ K ₇₀	69	60	59
N ₇₀ P ₆₀	130	122	120
N ₃₅ P ₃₀ K ₃₅	111	103	101
N ₇₀ P ₆₀ K ₇₀	129	119	116
N ₇₀ P ₃₀ K ₃₅	112	101	100
N ₇₀ P ₆₀ K ₃₅	128	120	118
N ₇₀ P ₃₀ K ₇₀	110	101	100
<i>HIP₀₅</i>	5	4	3
2023 р.			
Без добрив (контроль)	71	68	70
N ₃₅	68	62	65
N ₇₀	65	60	64
P ₆₀ K ₇₀	135	129	130
N ₇₀ K ₇₀	65	60	63
N ₇₀ P ₆₀	133	125	127
N ₃₅ P ₃₀ K ₃₅	115	109	110
N ₇₀ P ₆₀ K ₇₀	133	128	129
N ₇₀ P ₃₀ K ₃₅	113	108	110
N ₇₀ P ₆₀ K ₃₅	133	129	131
<i>HIP₀₅</i>	6	4	4

Вміст рухомих фосфатів у ґрунті, порівняно з азотом мінеральних сполук, більше залежав від удобрення, ніж від погодних умов. Так, різниця за їх вмістом на неудобрених ділянках між роками досліджень була 4–9 мг/кг ґрунту за $\text{NIP}_{05} = 5\text{--}6$ мг/кг. На ділянках з внесенням повного мінерального добрива ($\text{N}_{70}\text{P}_{60}\text{K}_{70}$) різниця також була незначною – 4–5 мг/кг. Значне зменшення вмісту рухомих сполук фосфору у ґрунті спостерігалось за період інтенсивного росту рослин ячменю голозерного, особливо на ділянках досліду з внесенням лише азотних і калійних добрив (варіант $\text{N}_{70}\text{K}_{70}$) на 5–14 мг/кг або на 8–19 %. У міжфазний період ячменю голозерного ВВСН 73 – ВВСН 93 вміст рухомих фосфатів у ґрунті залишався майже на одному рівні. Це свідчить про те, що у цей період ячмінь голозерний майже не засвоює фосфор з ґрунту, тому проходить відновлення його вмісту з важкорозчинних мінеральних сполук і орґанофосфатів.

Згідно прийнятої шкали групування ґрунтів за здатністю забезпечувати рослини фосфором напочатку вегетації ячменю голозерного на ділянках без внесення фосфорних добрив була низькою, тоді як в інших варіантах – середньою (80–120 мг/кг) і навіть підвищеною за внесення P_{60} . Під час проходження в рослинах ячменю процесів онтогенезу відбувалося інтенсивне засвоєння фосфатів з ґрунту. В наступні строки визначення рівень забезпеченості рослин фосфором відповідно залишався низьким і середнім. Слід зазначити, що найбільш інтенсивне зменшення вмісту рухомих сполук фосфору було з періоду кушіння до фази молочної стиглості зерна ячменю ярого голозерного. У фазу повної стиглості зерна ячменю голозерного в усіх досліджуваних варіантах, де проводилось удобрення вміст рухомих сполук фосфору в шарі ґрунту 0–20 см перевищував контроль.

Отже, на ділянках досліду без внесення добрив був низький рівень забезпеченості ячменю ярого голозерного фосфором упродовж вегетації, а у варіантах з внесенням низьких доз добрив не змінився впродовж вегетації і був середнім. У варіантах досліду де вносилися високі дози фосфорних добрив забезпеченість рослин ячменю рухомими сполуками фосфору впродовж вегетації знижується.

Калій, поряд з азотом і фосфором, належить до основних елементів мінерального живлення рослин. Рівень забезпеченості ним рослин є невід’ємним показником якості ґрунту. В ґрунті є значні запаси калію, проте не всі його сполуки доступні для живлення рослин. Забезпеченість рослин калієм зазвичай визначають за вмістом у ґрунті водорозчинних і обмінних його сполук [17]. Внесений калій фіксується ґрунтом, що зменшує доступність його для живлення рослин, але це сприяє тривалій післядії калійних добрив і запобігає вимиванню.

За тривалого землеробського використання ґрунту без застосування добрив у ґрунті зменшується кількість калію як рухомих його сполук, так і валового [18]. Застосування добрив у дозах, що перевищують вилучення калію з ґрунту, сприяє підвищенню вмісту рухомих його сполук у ґрунті. За систематичного внесення калійних добрив рухомість обмінної форми калію зростає, що пояснюється збільшенням кількості його іонів у ґрунтовому вбирному комплексі і зниженням енергії, з якою вони утримуються твердою фазою ґрунту [19].

Рослини під час живлення засвоюють у першу чергу найбільш рухомі форми калію – водорозчинний та обмінний. Інші форми калію використовуються в процесі живлення також, але після руйнування калієвмісних мінералів, відмирання і мінералізації мікроорганізмів і переходу його із необмінного в обмінну форму. Тому зазвичай цей процес відстає від потреб рослин у калії для формування високого врожаю, що і спонукає до додаткового його внесення з добривами [20].

Проведені дослідження показали, що вміст рухомих сполук калію в ґрунті залежав від кількості внесених добрив, погодних умов вегетаційного періоду та інтенсивності використання його рослинами (табл. 4). Вміст рухомого калію в ґрунті повторює динаміку вмісту рухомих фосфатів. У варіантах досліду без внесення калійних добрив він був на рівні 77–95 мг/кг ґрунту залежно від доз внесення азотних і фосфорних добрив, погодних умов і строку відбору зразків.

За внесення калійних добрив вміст рухомих сполук калію в ґрунті був у межах 118–146 мг/кг, тобто мав підвищену здатність забезпечувати рослини калієм. У динаміці за період вегетації ячменю голозерного з урахуванням показників $НР_{05}$ зміни були несуттєвими. Це свідчить про те, що чорнозем опідзолений здатний у достатній мірі забезпечувати рослини ячменю голозерного калієм і відновлювати початковий його вміст.

За отриманими даними про вміст рухомих сполук калію в ґрунті в середньому за роки проведених досліджень можна зробити висновок, що на початку вегетації ячменю ярого голозерного спостерігається найвищий його вміст у всіх варіантах досліду з подальшим його зменшенням унаслідок інтенсивного використання рослинами, а також переходу в необмінні форми.

Як за даними різних учених [21], так і результатами проведених досліджень найбільша інтенсивність поглинання калію рослинами ячменю ярого проходить від фази кушіння до фази молочної стиглості зерна. Упродовж цього відрізка вегетаційного періоду вміст рухомого калію у ґрунті зменшився у варіанті без добрив на 6–10 %, тоді як за внесення калійних добрив у дозі 70 кг/га д. р. воно становило менше – на 4–6 %. Відновлення вмісту калію в ґрунті в кінці вегетаційного періоду проходило за рахунок припинення засвоєння рослинами, мінералізації органічних і зниження активності ґрунтової мікрофлори.

Отже, тривале застосування добрив не тільки підвищують вміст, але й змінюють динаміку рухомих сполук калію в чорноземі опідзоленому. При застосуванні мінеральних добрив спостерігається збільшення амплітуди зміни вмісту калію впродовж вегетації ячменю голозерного. Погодні умови у роки проведення досліджень мало впливали на показники вмісту рухомих сполук калію в ґрунті, тому різниця між роками була не значною.

Застосування мінеральних добрив у сівозміні і безпосередньо під ячмінь голозерний істотно впливає на поживний режим чорнозему опідзоленого. Застосування добрив у досліді підвищує вміст і запаси мінеральних сполук азоту, рухомих сполук фосфору та калію в шарі ґрунту 0–20 см. Найкращий поживний режим ґрунту складався за внесення повного мінерального добрива з високими дозами азотної складової. Але, як відомо, оптимальний вміст рухомих сполук фосфору і калію в ґрунті для зернових культур знаходиться в межах 150 мг/кг ґрунту.

Табл. 4. Динаміка вмісту рухомих сполук калію в шарі ґрунту 0–20 см під посівами ячменю ярого голозерного, мг К₂O/кг

Варіант досліджу	Фаза росту та розвитку		
	ВВСН 20	ВВСН 73	ВВСН 93
2021 р.			
Без добрив (контроль)	96	90	87
N ₃₅	93	87	82
N ₇₀	92	84	80
P ₆₀ K ₇₀	140	141	137
N ₇₀ K ₇₀	135	133	130
N ₇₀ P ₆₀	90	86	81
N ₃₅ P ₃₀ K ₃₅	123	118	114
N ₇₀ P ₆₀ K ₇₀	136	130	125
N ₇₀ P ₃₀ K ₃₅	121	117	112
N ₇₀ P ₆₀ K ₃₅	120	115	111
N ₇₀ P ₃₀ K ₇₀	135	131	125
<i>HIP₀₅</i>	6	4	3
2022 р.			
Без добрив (контроль)	90	85	83
N ₃₅	88	82	80
N ₇₀	87	81	80
P ₆₀ K ₇₀	137	136	133
N ₇₀ K ₇₀	134	129	126
N ₇₀ P ₆₀	85	80	77
N ₃₅ P ₃₀ K ₃₅	118	113	110
N ₇₀ P ₆₀ K ₇₀	132	126	122
N ₇₀ P ₃₀ K ₃₅	117	112	108
N ₇₀ P ₆₀ K ₃₅	116	110	106
N ₇₀ P ₃₀ K ₇₀	131	125	121
<i>HIP₀₅</i>	5	3	3
2023 р.			
Без добрив (контроль)	101	95	91
N ₃₅	98	92	86
N ₇₀	97	89	84
P ₆₀ K ₇₀	145	146	141
N ₇₀ K ₇₀	140	138	134
N ₇₀ P ₆₀	95	91	85
N ₃₅ P ₃₀ K ₃₅	128	123	118
N ₇₀ P ₆₀ K ₇₀	141	135	129
N ₇₀ P ₃₀ K ₃₅	126	122	116
N ₇₀ P ₆₀ K ₃₅	125	120	115
<i>HIP₀₅</i>	7	5	3

Отже, у варіантах із застосуванням фосфорних і калійних добрив у дозі 70 кг/га д. р. рослини були достатньо забезпечені цими елементами живлення і вони не були лімітувальними чинниками створення врожаю. Динаміка вмісту поживних речовин у ґрунті впродовж вегетаційного періоду ячменю голозерного була подібна за всіх систем удобрення, а різниця спостерігалася лише в амплітуді змін.

Висновки. Найбільший вміст потенційно доступного азоту в ґрунті становить на початку вегетації ячменю голозерного. При цьому різниця є і за роками проведення досліджень. Так, у 2023 році на ділянках без добрив вміст азоту мінеральних сполук порівняно з 2021 роком вищий на 2,2 мг/кг або на 31 %. Різниця при цьому у варіанті досліді з внесенням повного мінерального добрива в дозі $N_{70}P_{60}K_{70}$ також була 4,4 мг/кг або 11 %. У період досягання зерна ячменю голозерного ярого у 2021 р. випало 57,3 мм опадів, у 2022 р. – 27,1, а в 2023 р. – 61,4 мм, що впливало на вміст азоту мінеральних сполук у ґрунті. Тому під кінець вегетації ячменю голозерного вміст азоту мінеральних сполук у ґрунті частково підвищується, що перш за все свідчить про значне зменшення засвоєння його рослинами. При цьому переваги удобрених ділянок залишалися, хоч і знижувалась різниця між варіантами досліді із застосуванням добрив.

Вміст рухомих фосфатів у ґрунті, порівняно з азотом мінеральних сполук, більше залежить від удобрення, ніж від погодних умов. Так, різниця за їх вмістом на неудобрених ділянках між роками досліджень становить 4–9 мг/кг ґрунту за $НР_{05}$ = 5–6 мг/кг. На ділянках з внесенням повного мінерального добрива ($N_{70}P_{60}K_{70}$) різниця також незначна – 4–5 мг/кг. Вміст рухомого калію в ґрунті повторює динаміку вмісту рухомих фосфатів. У варіантах досліді без внесення калійних добрив він на рівні 77–95 мг/кг ґрунту залежно від доз внесення азотних і фосфорних добрив, погодних умов і строку відбору зразків.

Література:

1. Hospodarenko H., Liubych V., Oliinyk O., Polianetska I., Silifonov T. Influence of fertilization on the crop rotation productivity and the balance of essential nutrients in the soil. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín*. 2022. Vol. 75(2). P. 9919–9928.
2. Dai J., Wang Z., Li F., He G., Wang S., Li Q., Cao H., Luo L., Zan Y., Meng X. Optimizing nitrogen input by balancing winter wheat yield and residual nitrate-N in soil in a long-term dryland field experiment in the Loess Plateau of China. *Field Crops Research*. 2015. Vol. 181. P. 32–41.
3. Господаренко Г. М., Рябовол Я. С., Черно О. Д., Любич В. В., Крижанівський В. Г. Ріст і розвиток пшениці озимої у весняно-літній період вегетації залежно від умов мінерального живлення в Правобережному Лісостепу України. *Вісник Уманського НУС*. 2020. № 2. С. 3–8.
4. Raun W. R., Solie J. B., Stone M. L. Independence of yield potential and crop nitrogen response. *Precision Agriculture*. 2011. Vol. 12(4). P. 508–518.
5. Lollato R. P., Figueiredo B. M., Dhillon J. S., Arnall D. B., Raun W. R. Wheat grain yield and grain-nitrogen relationships as affected by N, P, and K fertilization: A synthesis of long-term experiments. *Field Crops Research*. 2019. Vol. 236. P. 42–57.

6. 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.
7. Любич В. В., Полянецька І. О., Климович Н. М. Ураження пшениці м'якої ярої листовими хворобами залежно від рівня азотного живлення. *Агробіологія*. 2022. №1. С. 160–167.
8. Пшениця спельта. Г. М. Господаренко, П. В. Костогриз, В. В. Любич, Ф. М. Парій, С. П. Полторецький, І. О. Полянецька, Л. О. Рябовол, Я. С. Рябовол, О. Г. Сухомуд. За заг. ред. Г. М. Господаренка. К.: ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2016. 312 с.
9. Schulz R., Makary T., Hubert S., Hartung K., Gruber S., Donath S., Döhler J., Wei K., Ehrhart E., Claupein W. Is it necessary to split nitrogen fertilization for winter wheat? On-farm research on Luvisols in South-West Germany. *The Journal of Agricultural Science*. 2015. Vol. 153(4). P. 575–587.
10. Любич В. В. Біологічна цінність білка пшениці спельти залежно від походження сорту та лінії. *Зб. наук. пр. Уманського НУС*. 2016. Вип. 89. С. 199–206.
11. Любич В. В. Кормові властивості зерна тритикале ярого залежно від доз і строків застосування азотних добрив. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. 2019. Вип. 95. С. 8–17.
12. Dang B., Zhang W.-G., Zhang J., Yang X.-J., Xu H.-D. Evaluation of Nutritional Components, Phenolic Composition, and Antioxidant Capacity of Highland Barley with Different Grain Colors on the Qinghai Tibet Plateau. *Foods*. 2022. Vol. 11. Article number 2025.
13. Трембіцька О. І. Вплив систем добрив на агроекологічний стан дерново-підзолистого ґрунту та накопичення радіоцезію сільськогосподарськими рослинами. *Бюлетень Інституту зернового господарства*. 2010. Вип. 39. С. 107–110.
14. 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.
15. Любич В. В., Невлад В. І., Мартинюк А. Т. Продуктивність тритикале ярого за різних доз азотних добрив. *Агробіологія*. 2022. №1. С. 152–159.
16. Szczepanek M., Nowak R., Błaszczuk K. Physiological and Agronomic Characteristics of Alternative Black Barley Genotypes (*Hordeum vulgare* var. *nigricans* and H. v. var. *rimpau*) under Different Hydrothermal Conditions of the Growing Seasons. *Agriculture*. 2023. Vol. 13. Article number 2033.
17. Господаренко Г. М., Черно О. Д., Никітіна О. В. Агрохімія калію / за заг. ред. Г. М. Господаренка. Київ : ТОВ «ТРОПЕА», 2021. 264 с.
18. Šimanský V. Changes in soil organic matter parameters during the period of 18 years under different soil management practices. *Agriculture*. 2016. Vol. 62. P. 149–154.
19. Господаренко Г. М., Мартинюк А. Т., Черно О. Д., Любич В. В. Екотоксикологічне оцінювання зерна пшениці озимої за тривалого (з 1965 р.) застосування добрив у польовій сівоzmіні. *Вісник Дніпропетровського ДАЕУ*. 2017. №4. С. 85–98.
20. Kondo M., Makino T., Eguchi T., Goto A., Nakano H., Takai T., Kimura T.

Comparative analysis of the relationship between Cs and K in soil and plant parts toward control of Cs accumulation in rice. *Soil Science and Plant Nutrition*. 2015. Vol. 61. P. 144–151.

21. Любич В. В. Хвороби і шкідники різних сортів пшениці твердої озимої. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. 2022. Вип. 100. С. 7–16.

References:

1. Hospodarenko, H., Liubych, V., Oliinyk, O., Polianetska, I., Silifonov, T. (2022). Influence of fertilization on the crop rotation productivity and the balance of essential nutrients in the soil. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín*, no. 75(2), pp. 9919–9928.

2. Dai, J., Wang, Z., Li, F., He, G., Wang, S., Li, Q., Cao, H., Luo, L., Zan, Y., Meng, X. (2015). Optimizing nitrogen input by balancing winter wheat yield and residual nitrate-N in soil in a long-term dryland field experiment in the Loess Plateau of China. *Field Crops Research*, no. 181, pp. 32–41.

3. Hospodarenko, G. M., Ryabovol, Y. S., Chernov, O. D., Lyubich, V. V., Kryzhanivskyi, V. G. (2020). Growth and development of winter wheat in the spring-summer vegetation period depending on mineral nutrition conditions in the Right Bank Forest Steppe of Ukraine. *Bulletin of the Uman State University*, no. 2, pp. 3–8. [in Ukrainian].

4. Raun, W. R., Solie, J. B., Stone, M. L. (2011). Independence of yield potential and crop nitrogen response. *Precision Agriculture*, no. 12(4), pp. 508–518.

5. Lollato, R. P., Figueiredo, B. M., Dhillon, J. S., Arnall, D. B., Raun, W. R. (2019). Wheat grain yield and grain-nitrogen relationships as affected by N, P, and K fertilization: A synthesis of long-term experiments. *Field Crops Research*, no. 236, pp. 42–57.

6. Liubych, V. V. (2017). Productivity of varieties and lines of wheat depending on abiotic and biotic factors. *Ukrainian Black Sea region agrarian science*, no. 95, pp. 146–161. [in Ukrainian].

7. Liubych, V. V., Polyanetska, I. O., Klymovych, N. M. (2022). Affection of soft spring wheat by foliar diseases depending on the level of nitrogen nutrition. *Agrobiology*, 2022, no. 1, pp. 160–167. [in Ukrainian].

8. Hospodarenko, G. M., Kostogryz, V. P., Liubych, V. V. (2016). Wheat spelt. Kyiv: SIK GROUP UKRAINE, 312 p. [in Ukrainian].

9. Schulz, R., Makary, T., Hubert, S., Hartung, K., Gruber, S., Donath, S., Döhler, J., Wei, K., Ehrhart, E., Claupein, W. (2015). Is it necessary to split nitrogen fertilization for winter wheat? On-farm research on Luvisols in South-West Germany. *The Journal of Agricultural Science*, no. 153(4), pp. 575–587.

10. Liubich, V. V. (2016). Biological value of spelt wheat protein depending on the origin of the variety and strain. *Bulletin of Uman NUH*, 89, pp. 199–206. [in Ukrainian].

11. Liubych, V. V. (2019). Fodder properties of spring triticale grain depending on doses and terms of nitrogen fertilizers application. *Collection of scientific works of Uman NUS*, no. 95, pp. 8–17. [in Ukrainian].

12. Dang, B., Zhang, W.-G., Zhang, J., Yang, X.-J., Xu, H.-D. (2022). Evaluation of Nutritional Components, Phenolic Composition, and Antioxidant Capacity of

Highland Barley with Different Grain Colors on the Qinghai Tibet Plateau. *Foods*, no 11, p. 2025.

13. Trembitska, O. I. (2010). Influence of fertilizer systems on the agroecological condition of sod-podzolic soil and accumulation of radiocaesium by agricultural plants. *Bulletin of the Institute of Grain Management*, vol. 39, pp. 107–110. [in Ukrainian].

14. Liubych, V. V. (2017). Baking properties of grain of winter wheat varieties depending on types, norms and terms of nitrogen fertilizers application. *Bulletin of Dnipropetrovsk DAEU*, no. 2. pp. 35–41. [in Ukrainian].

15. Lyubich, V. V., Nevlad, V. I., Martyniuk, A. T. (2022). Productivity of spring triticale under different doses of nitrogen fertilizers. *Agrobiology*, no. 1, pp. 152–159. [in Ukrainian].

16. Liubich, V. V. (2016). Biological value of spelt wheat protein depending on the origin of the variety and strain. *Bulletin of Uman NUH*, no. 89, pp. 199–206. [in Ukrainian].

17. Gospodarenko, G. M., Chernov, O. D., Nikitina, O. V. (2021). Agrochemistry of potassium. Kyiv: TROPEA LLC, 264 p. [in Ukrainian].

18. Šimanský, V. Changes in soil organic matter parameters during the period of 18 years under different soil management practices. *Agriculture*, 2016, vol. 62, pp. 149–154.

19. Hospodarenko, H. M., Martyniuk, A. T., Chernov, O. D., Liubych, V. V. (2017). Ecotoxicological evaluation of winter wheat grain for long-term (since 1965) application of fertilizers in field crop rotation. *Bulletin of Dnipropetrovsk State Agrarian University*, no. 4, pp. 85–98. [in Ukrainian].

20. Kondo, M., Makino, T., Eguchi, T., Goto, A., Nakano, H., Takai, T., Kimura, T. (2015). Comparative analysis of the relationship between Cs and K in soil and plant parts toward control of Cs accumulation in rice. *Soil Science and Plant Nutrition*, vol. 61, pp. 144–151.

21. Liubych, V. V. (2022). Diseases and pests of different varieties of hard winter wheat. *Collection scientific works of the Uman NUH*, no. 100, pp. 7–16. [in Ukrainian].

Annotation

Hospodarenko, H. M., Liubych, V. V., Prytuliak, R. M., Havrylenko V. S.
Agrochemical parameters of fertility of sod-podzolic chernozem under spring barley bare-grain crops with different fertilization systems

Aim. To determine agrochemical parameters of fertility of sod-podzolic chernozem under spring barley bare-grain crops with various fertilization systems.

Methods. Field, laboratory, comparative, analytical, statistical.

Results. The application of mineral fertilizers in crop rotation and directly under spring barley bare-grain significantly affects the nutrient regime of sod-podzolic chernozem. Fertilizer application in the experiment increases the content and reserves of mineral nitrogen compounds, mobile phosphorus and potassium compounds in the 0–20 cm soil layer. The best nutrient regime was observed with the application of full mineral fertilizer with high nitrogen doses. However, it is known that the optimal content of mobile phosphorus and potassium compounds in the soil for cereal crops is within 150 mg/kg. Therefore, in variants with phosphorus and potassium fertilizers applied at 70 kg/ha active ingredient, plants were sufficiently supplied with these

nutrients, and they were not limiting factors for yield formation. The dynamics of nutrient content in the soil during the growing season of spring barley bare-grain were similar across all fertilization systems, with differences observed only in the amplitude of changes. The content of mobile phosphates in the soil depends more on fertilization than on weather conditions compared to mineral nitrogen compounds. For example, the difference in their content in unfertilized plots between study years was 4–9 mg/kg of soil at $LSD_{05} = 5\text{--}6$ mg/kg. On plots with full mineral fertilizer ($N_{70}P_{60}K_{70}$), the difference was also insignificant – 4–5 mg/kg. The content of mobile potassium in the soil follows the dynamics of mobile phosphates. In the variants without potassium fertilizers, it ranged from 77 to 95 mg/kg of soil depending on nitrogen and phosphorus fertilizer doses, weather conditions, and sample collection timing.

Conclusions. The highest content of potentially available nitrogen in the soil occurs at the beginning of the growing season of spring barley bare-grain. Differences are also observed between years of research. In 2023, in unfertilized plots, the content of mineral nitrogen compounds was 2.2 mg/kg or 31% higher than in 2021. In the variant with full mineral fertilizer $N_{70}P_{60}K_{70}$, the difference was 4.4 mg/kg or 11%. During the grain ripening period of spring barley bare-grain, precipitation was 57.3 mm in 2021, 27.1 mm in 2022, and 61.4 mm in 2023, affecting the mineral nitrogen content in the soil. Therefore, by the end of the growing season, the content of mineral nitrogen compounds in the soil partially increases, indicating a significant decrease in its uptake by plants. At the same time, advantages of fertilized plots remained, although the difference between fertilizer variants decreased.

Key words: spring barley bare-grain, soil nutrient regime, fertilization systems, sod-podzolic chernozem, soil fertility.