Агрохімія

УДК: 631.816:631.582 https://doi.org/10.31867/2523-4544/0222

ФОРМУВАННЯ БАЛАНСУ ЕЛЕМЕНТІВ ЖИВЛЕННЯ В ПОСІВАХ СОРГО ЗЕРНОВОГО (*SORGHUM BICOLOR L.*) ПРИ РІЗНИХ СИСТЕМАХ УДОБРЕННЯ

В. В. Іваніна, К. Л. Пашинська
Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03141, Україна

Актуальність. *Останніми роками істотно зросли посівні площі сорго зернового у зоні Лісостепу. Це нова ґрунтово-екологічна ніша для цієї культури, де питання удобрення потребують поглибленого вивчення, а тому є актуальними. Формування врівноваженого балансу елементів живлення у ґрунті є основою ефективної та екологічно стабільної системи удобрення, яка забезпечує сталі основи вирощування сорго зернового.* ***Метою*** *досліджень було вивчити особливості використання елементів живлення рослинами сорго зернового при застосуванні мінеральної та альтернативної органо-мінеральної систем удобрення на чорноземі вилугуваному та сформувати парадигму екологічно збалансованого та економічно ефективного застосування добрив.* ***Матеріали і методи.*** *Тимчасовий польовий, аналітичний та розрахунковий методи досліджень використовували в процесі визначення виносу та балансу елементів живлення.* ***Результати.*** *Наведено дані досліджень щодо впливу систем удобрення на врожайність зерна, винос та баланс елементів живлення в посівах сорго зернового. Встановлено, що сорго зернове з біологічним урожаєм виносить велику кількість елементів живлення, які нерівномірно розподіляються у його складових. З врожаєм зерна сорго зернове виносить переважно азот, з врожаєм стеблової маси – переважно калій та значну кількість азоту. Для забезпечення сталих засад вирощування цієї культури та формування врівноваженого балансу елементів живлення у ґрунті важливо залишати на полі нетоварну частину врожаю. Обґрунтовано, що альтернативна органо-мінеральна система удобрення здатна формувати врівноважений баланс елементів живлення у ґрунті та забезпечити високу врожайність зерна при вирощуванні сорго зернового на чорноземі вилугуваному в умовах достатнього зволоження Лісостепу України.* ***Висновки.*** *Рослини сорго зернового на контролі без добрив виносили з врожаєм зерна (6,09 т/га) азоту – 105 кг/га, фосфору – 24, калію – 27, стеблами (26,1 т/га) – відповідно 58, 12 та 140 кг/га. Найбільш продуктивною та екологічно стабільною з врожайністю зерна понад 8,5 т/га визначено систему удобрення, яка передбачала залишати нетоварну частину врожаю сорго зернового на полі та вносити з осені під оранку 4 т/га соломи + $N_{120}P_{120}K_{120}$. При таких умовах формувався практично бездефіцитний баланс азоту (-4 кг/га) і накопичувались значні запаси фосфору і калію у ґрунті – відповідно 94 та 134 кг/га. При залишанні нетоварної частини врожаю сорго зернового на полі раціональним за альтернативної органо-мінеральної системи удобрення є внесення з осені під орану лише азотних та фосфорних добрив – 4 т/га соломи + $N_{120}P_{30}$. Така система удобрення формуватиме врівноважений баланс елементів живлення у ґрунті, істотно зменшить витрати на удобрення та сприятиме накопиченню органічної речовини.*

Ключові слова*: сорго зернове, елементи живлення, система удобрення, винос та баланс.*

Вступ. Сорго зернове є однією з найбільш перспективних зернових культур, здатних давати стабільно високі врожаї зерна в умовах глобального потепління [1]. Зерно цієї культури має високу кормову та харчову цінність: містить крохмалю – 70–75 %, білка – 12–14%, жиру – 3–5 %. З врожайністю зерна 5–6 т/га сорго зернове виносить 140–160 кг азоту, 50–60 кг фосфору і 150–180 кг калію [2]. Більшість ґрунтів у регіонах вирощування сорго зернового здатні лише наполовину забезпечувати потребу рослин в

Інформація про авторів:
Іваніна Вадим Віталійович, *доктор с.-г. наук, завідувач відділу землеробства та агрохімії,*
e-mail: v_ivanina@ukr.net, https://orcid.org/0000-0002-9471-114X
Пашинська Катерина Леонідівна, *аспірантка відділу землеробства та агрохімії,*
e-mail: k.pashynska@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-5519-3087

елементах живлення, тому застосування добрив є одним із найбільш важливих чинників, що визначає врожайність та якість зерна цієї культури [3, 4].

Важливим аспектом сучасного землеробства є дотримання умов сталості вирощування сільськогосподарських культур. Сорго зернове є недостатньо вивчена культура з позицій виносу та балансу елементів живлення, не сформована парадигма екологічно збалансованого застосування добрив під цю культуру [2, 5].

Провідна роль в отриманні високих врожаїв сорго зернового належить азоту, менша – фосфору і калію [6, 7]. Дослідження, проведені в США показали, що оптимальна доза азотних добрив під сорго зернове у штаті Небраска становила 87 кг/га, штаті Канзас – 90 кг/га. Застосування азотних добрив у штаті Канзас в дозі 45 збільшило врожайність зерна до контролю без добрив на 13 %, в дозі 90 кг/га – на 48 % [8].

Ряд дослідників вважає, що при вирощуванні сорго зернового необхідно уникати надмірно високих доз азотних добрив [7, 9–11]. Невиправдано високі дози азоту не тільки не збільшували врожайність зерна, вони спричинили надмірний розвиток вегетативної маси, у рослин затягувався процес дозрівання [12], знижувалась стійкість рослин до враження попелицями, зростало накопичення ціанідів та нітратів у зеленій масі [13], що було вкрай небажаним.

Дослідження проведені в Ефіопії показали, що рослини сорго зернового позитивно відгукувались на внесення азотних добрив в дозі до 100 кг/га, забезпечивши врожайність зерна понад 5 т/га [14, 10]. Високої врожайності і якості зерна сорго зернового можна досягти лише за збалансованого за основними елементами мінерального живлення. Оптимальним в умовах Лісостепу на чорноземі вилугуваному під сорго зернове визначено внесення мінеральних добрив в дозі $N_{90}P_{90}K_{90}$. Зазначена система удобрення забезпечила врожайність зерна 8,6 т/га, вміст протеїну – 11,5 % [2].

Ряд досліджень вказує на високу ефективність поєднаного застосування органічних і мінеральних добрив в посівах сорго зернового [15, 16].

Мета дослідження – вивчити особливості використання та балансу елементів живлення рослинами сорго зернового за застосування мінеральної та альтернативної органо-мінеральної систем удобрення на чорноземі вилугуваному та сформувати парадигму екологічно збалансованого та економічно ефективного застосування добрив.

Матеріали і методи. Дослідження проводили в умовах тимчасового польового досліду (2017–2019 рр.) Уладово-Люлинецької дослідно-селекційної станції, зона достатнього зволоження Лісостепу України.

Схема досліду включала 8 варіантів: 1 – контроль без добрив, 2–4 – внесення мінеральних добрив з осені під оранку в дозах: $N_{60}P_{60}K_{60}$, $N_{90}P_{90}K_{90}$, $N_{120}P_{120}K_{120}$, 5 – внесення в ґрунт соломи в дозі 4 т/га, 6–8 – дози мінеральних добрив зазначені у варіантах 2–4 вносили на фоні 4 т/га соломи. Площа посівної ділянки – 75 м^2, облікової – 50 м^2. Розміщення варіантів у дослідах – систематичне послідовне, повторність чотириразова. У дослідах сіяли гібрид сорго зернового – Дніпровський 39.

Ґрунт дослідного поля Уладово-Люлинецької ДСС – чорнозем вилугуваний легкосуглинковий, має таку агрохімічну і фізико-хімічну характеристику 0–30 см шару: pH сольове – 5,9–6,4; Нг за Каппеном – 1,09–1,26 мг-екв./100 г ґрунту; сума увібраних основ за Каппеном-Гільковіцем – 23,8–27,2 мг-екв./100 г ґрунту; вміст гумусу за Тюріним – 4,0–4,2 %; лужногідролізованого азоту – 120–127 мг/кг ґрунту; рухомого фосфору та калію за Чиріковим – відповідно 136–157 і 78–84 мг/кг ґрунту.

Застосовували мінеральні добрива: аміачну селітру, суперфосфат простий гранульований, калій хлористий. Для визначення виносу та балансу елементів живлення в агроценозі сорго зернового використовували розрахунковий метод. Розрахунок балансу проводили за вилучення з поля побічної продукції та за умов, коли побічну продукцію залишали на полі.

Вміст елементів живлення в рослинних зразках визначали після мокрого озолення за Гінзбург та ін.: азот – за К'єльдалем згідно з ДСТУ 7169-2010, фосфор – згідно з ГОСТ 26 657-97, калій – на полуменевому фотометрі.

Результати та обговорення. Дослідження показали, що сорго зернове є адапто-

ваною культурою до вирощування в умовах достатнього зволоження Лісостепу України на чорноземах вилугуваних і має хороші перспективи у вирішення проблеми продовольства та отримання фуражного зерна при умовах, коли посушливість клімату буде і надалі зростати [17–19]. При вирощуванні сорго зернового впродовж 2017–2019 рр. на чорноземі вилугуваному без застосування добрив врожайність зерна становила 6,09 т/га, стебел – 26,1 т/га, при цьому з товарною продукцією рослини виносили азоту – 105 кг/га, фосфору – 24, калію – 27; нетоварною – відповідно 58, 12 та 140 кг/га. З товарним врожаєм рослини сорго зернового виносили із ґрунту переважно азот, побічною продукцією – переважно калій за сумарних обсягів виносу елементів живлення біологічним врожаєм на контролі без добрив: азоту – 163, фосфору – 36, калію – 167 кг/га (табл. 1).

Таблиця 1. ***Винос елементів живлення рослинами сорго зернового при різних системах удобрення, 2017–2019 рр., (кг/га)***

№ вар.	Варіант	Врожайність зерна, т/га	Винос зерном			Врожайність стебел, т/га	Винос стеблами		
			N	P	K		N	P	K
1	Без добрив (контроль)	6,09	105	24	27	26,1	58	12	140
2	$N_{60}P_{60}K_{60}$	6,77	119	27	30	26,8	60	12	146
3	$N_{90}P_{90}K_{90}$	7,43	132	31	32	27,9	66	13	152
4	$N_{120}P_{120}K_{120}$	7,91	139	31	37	28,3	68	15	155
5	Солома 4 т/га	6,40	109	24	29	27,0	60	13	147
6	Солома 4 т/га + $N_{60}P_{60}K_{60}$	7,36	128	29	35	27,9	63	14	156
7	Солома 4 т/га + $N_{90}P_{90}K_{90}$	7,99	139	31	38	29,2	68	15	165
8	Солома 4 т/га + $N_{120}P_{120}K_{120}$	8,54	148	34	42	29,7	70	15	173
$НІР_{05}$		0,47				1,3			
Р, %		3,2				3,5			

Застосування мінеральних добрив під оранку в дозі $N_{60}P_{60}K_{60}$ збільшило врожайність зерна порівняно з контролем без добрив на 0,68 т/га, стебел – на 0,7 т/га та підвищило винос рослинами з ґрунту переважно азоту і калію. З біологічним врожаєм сорго зернове виносило із ґрунту азоту – 179 кг/га, фосфору – 39, калію – 176 зі зростанням до контролю без добрив – відповідно на 12, 3 та 9 кг/га.

Незважаючи на те, що родючість чорнозему вилугуваного є досить високою сорго зернове позитивно відгукувалось на застосування достатньо високих доз мінеральних добрив. При збільшенні дози добрив до $N_{120}P_{120}K_{120}$ врожайність зерна становила 7,91 т/га, стебел – 28,3 т/га зі збільшенням до контролю без добрив – відповідно на 1,82 та 2,2 т/га. При зазначеній дозі добрив з біологічним врожаєм рослини сорго зернового виносили із ґрунту азоту – 207 кг/га, фосфору – 46, калію – 192 зі зростанням до контролю без добрив – відповідно на 40, 10 та 25 кг/га. Високу ефективність застосування мінеральних добрив в посівах сорго зернового спостерігали в дослідженнях [20–22].

Ряд дослідників відмічають вагому роль альтернативної органо-мінеральної системи удобрення у збереженні і раціональному використанні вологи ґрунту, що є вкрай важливим в епоху глобального потепління [23–25]. При застосуванні альтернативної органо-мінеральної системи удобрення врожайність сорго зернового істотно зростала. При внесенні 4 т/га соломи + $N_{60}P_{60}K_{60}$ врожайність зерна становила 7,36 т/га, 4 т/га соломи + $N_{90}P_{90}K_{90}$ – 7,99, 4 т/га соломи + $N_{120}P_{120}K_{120}$ – 8,54 т/га з перевищенням контролю без добрив – відповідно на 1,27, 1,90 та 2,45 т/га.

Встановлено, що сорго зернове з біологічним врожаєм виносить велику кількість елементів живлення, які нерівномірно розподіляються у його складових. При вирощуванні сорго зернового без внесення добрив вміст елементів живлення в зерні становив: азоту – 2,02 %, фосфору – 0,46 %, калію – 0,51 %; стеблах – відповідно 0,40 %, 0,12% та 1,94 %, листках – 1,78 %, 0,25 % та 1,36 %. Внесення добрив підвищило вміст азоту в зерні – на 0,01–0,06 %, фосфору – на 0,01–0,02 %, калію – на 0,02–0,07 %; стеблах –

відповідно на 0–0,03%, 0–0,01 % та 0,03–0,11 %, листках – на 0–0,02 %, 0–0,02 % та 0,02–0,04 %. З врожаєм зерна сорго зернове виносило переважно азот, з врожаєм стеблової маси – переважно калій та значну кількість азоту.

Найбільший винос елементів живлення біологічним врожаєм сорго зернового спостерігали за внесення 4 т/га соломи + $N_{120}P_{120}K_{120}$: азоту – 218, фосфору – 49, калію – 215 кг/га. При цьому з урожаєм зерна рослини виносили переважно азот (148 кг/га), з урожаєм стебел – переважно калій (173 кг/га) зі значним виносом азоту (70 кг/га). Вилучення побічної продукції із поля істотно збіднювало ґрунт на калій і азот.

Розрахунок балансу елементів живлення у ґрунті показав, що за відчуження із поля побічної продукції на контролі без добрив формувався дефіцит азоту – 163 кг/га, фосфору – 36, калію – 167, без відчуження – відповідно 105, 24 та 27 кг/га. Вилучення побічної продукції із поля збільшило винос із ґрунту азоту – на 58, фосфору – на 12, калію – на 140 кг/га (табл. 2).

Внесення повного мінерального добрива в дозі $N_{60}P_{60}K_{60}$ незначно покращило біологічний баланс елементів живлення у чорноземі вилугуваному. При відчуженні з поля побічної продукції у ґрунті зберігався високий дефіцит азоту (-119 кг/га) і калію (-116 кг/га) і формувався позитивний баланс фосфору – 21 кг/га. Якщо побічну продукцію залишали на полі показники балансу були значно кращі: дефіцит азоту становив -59 кг/га, тоді як баланс фосфору і калію формувався позитивним – відповідно 33 та 30 кг/га.

У разі відчуження із поля побічної продукції застосування більш високих доз добрив $N_{90}P_{90}K_{90}$ та $N_{120}P_{120}K_{120}$ не покращило істотно показників балансу. Так, при дозі $N_{120}P_{120}K_{120}$ дефіцит азоту в ґрунті зберігався на рівні 87 кг/га, калію – 72 кг/га при позитивному балансі фосфору 46 кг/га.

Таблиця 2. ***Баланс елементів живлення в агроценозі сорго зернового при різних системах удобрення, 2017–2019 рр., (± кг/га)***

№ вар.	Варіант	Відчуження стебел з поля			Без відчуження стебел з поля		
		N	P	K	N	P	K
1	Без добрив (контроль)	-163	-36	-167	-105	-24	-27
2	$N_{60}P_{60}K_{60}$	-119	21	-116	-59	33	30
3	$N_{90}P_{90}K_{90}$	-108	46	-94	-42	59	58
4	$N_{120}P_{120}K_{120}$	-87	74	-72	-19	89	83
5	Солома 4 т/га	-145	-29	-120	-85	-16	27
6	Солома 4 т/га + $N_{60}P_{60}K_{60}$	-107	25	-75	-44	39	81
7	Солома 4 т/га + $N_{90}P_{90}K_{90}$	-93	52	-57	-25	67	108
8	Солома 4 т/га + $N_{120}P_{120}K_{12}$	-74	79	-31	-4	94	134

Високий стабілізаційний вплив на баланс елементів живлення у ґрунті мало внесення мінеральних добрив за умови, коли побічна продукція сорго зернового залишалась на полі. При залишанні побічної продукції на полі внесення $N_{120}P_{120}K_{120}$ формувало незначний дефіцит азоту (-19 кг/га) і сприяло значному накопиченню у ґрунті фосфору і калію при їх позитивному балансі – відповідно 89 та 83 кг/га.

Показники балансу елементів живлення в чорноземі вилугуваному істотно покращувались, коли мінеральні добрива вносили на фоні соломи, а стеблову масу сорго зернового залишали на полі. Встановлено, що внесення 4 т/га соломи + $N_{120}P_{120}K_{120}$ формувало практично бездефіцитний баланс азоту (-4 кг/га) і сприяло значному накопиченню у ґрунті фосфору і калію за їх балансу – відповідно +94 та +134 кг/га. У разі відчуження побічної продукції із поля внесення 4 т/га соломи + $N_{120}P_{120}K_{120}$ зберігало дефіцит азоту у ґрунті на рівні -74 кг/га та калію – на рівні -31 кг/га.

Отже, для забезпечення сталих засад вирощування цієї культури та формування врівноваженого балансу елементів живлення у ґрунті важливо залишати на полі нетоварну частину врожаю. Солома та нетоварна частина врожаю сприяють накопиченню у ґрунті значних запасів фосфору і калію, тому при внесенні 4 т/га соломи економічно доцільним

є внесення високої дози азоту – 120 кг/га, дозу фосфорних добрив раціонально зменшити до 30 кг/га, а калійні добрива не вносити взагалі. При такій системі удобрення ґрунт поповниться значними запасами органічної речовини та формуватиметься в ньому врівноважений баланс елементів живлення. Позитивний вплив органічних добрив на поживний режим та стан органічної речовини ґрунту відмічено в дослідженнях [26–29].

Висновки. Рослини сорго зернового з товарною продукцією з ґрунту виносили переважно азот, побічною – переважно калій. На контролі без добрив винос зерном (6,09 т/га) азоту становив 105 кг/га, фосфору – 24, калію – 27, стеблами (26,1 т/га) – відповідно 58, 12 та 140 кг/га.

Найбільш продуктивною та екологічно стабільною з врожайністю зерна понад 8,5 т/га визначено систему удобрення, яка передбачала залишати нетоварну частину врожаю сорго зернового на полі та вносити з осені під оранку 4 т/га соломи + $N_{120}P_{120}K_{120}$. При таких умовах формувався практично бездефіцитний баланс азоту (-4 кг/га) і накопичувались значні запаси фосфору і калію у ґрунті – відповідно 94 та 134 кг/га.

При залишенні нетоварної частини врожаю сорго зернового на полі раціональним при альтернативній органо-мінеральної системи удобрення є внесення з осені під оранку лише азотних та фосфорних добрив – 4 т/га соломи + $N_{120}P_{30.}$ Така система удобрення формуватиме врівноважений баланс елементів живлення у ґрунті, істотно зменшить витрати на удобрення та сприятиме накопиченню органічної речовини.

Використана література

1. Каражбей Х. М. (2012). Стан і перспективи зернового сорго в Україні. *Селекція та насінництво*, 101, 37–42. http://dx.doi.org/10.30835/2413-7510.2012.59749
2. Господаренко Г. М., Климович П. В. (2006). Реакція сорго зернового на удобрення на чорноземі опідзоленому. *Зб. наук. пр. Луганського НАУ*, 69, 20–25.
3. Бойко М. О. (2016). Аналіз структури врожаю гібридів сорго зернового при різних густотах посівів за двома строками сівби. Онтогенез – стан проблеми та перспективи вивчення рослин культурних і природних ценозів: *зб. тез між нар. конф.* Херсон: РВЦ Колос, 79–80.
4. Малярчук Н. П., Малярчук А. С., Лужанський І. Ю., Марковська Є. Є., Малярчук В. Н. (2019). Вплив системи основного обробітку та удобрення на гумусовий стан ґрунту і продуктивність сорго зернового у сівозміні та зрошення. *Біоресурси та природокористування*, 1–2, 98–107. https://doi.org/10.31548/bio2019.01.011
5. Кух М. В., Среда В. Ю. (2014). Влияние удобрения на урожайность сортов сорго зернового. *Зерновое хозяйство в России*, 3, 21–27.
6. Gupta N., Gupta A. K., Gaur V. S., Kumar A. (2012). Relationship of nitrogen use efficiency with the activities of enzymes involved in nitrogen uptake and assimilation of finger millet genotypes grown under different nitrogen inputs. *The Scientific World Journal*, 10.
7. Mahama G. Y., Prasad P. V., Mengel D. B., Tesso T. T. (2014). Influence of Nitrogen Fertilizer on Growth and Yield of Grain Sorghum Hybrids and Inbred Lines. *Agronomy Journal*, 106(5), 1623–1630. https://doi.org/10.2134/agronj14.0092
8. Arun G., Kulamarva V. R., Sosle G.S., Vijaya R. (2009). Nutritional and Rheological Properties of Sorghum. *International Journal of Food Properties*, 12, 55–69. https://doi.org/10.1080/10942910802252148
9. Луцько Г. (2014). Сорго зернове: новий погляд на знайому культуру. *Пропозиція*, 3, 68–70.
10. Masebo N., Menamo M. (2016). The Effect of Application of Different Rate of N-P Fertilizers Rate on Yield and Yield Components of Sorghum (Sorghum bicolor): Case of Derashe Woreda, SNNPR, Ethiopia. *Journal of Natural Sciences Research*, 6(5), 2224–3186.
11. Melaku N. D., Bayu W., Ziadat F. (2018). Effect of nitrogen fertilizer rate and timing on sorghum productivity in Ethiopian highland Vertisols. *Arch. Agronomy Soil Science*, 64(4), 480–491. http://dx.doi.org/10.1080/03650340.2017.1362558
12. Маслак О. (2012). Стан і перспективи зернового сорго в Україні. *Агробізнес сьогодні*, 11 (234), 14.
13. Кызын В. В., Илюк Е. Н. (2006). Использование растениями и особенности трансформации аммонийного и нитратного азота разных горизонтов дерново-подзолистой почвы. *Агрохимия*, 11, 3–9.
14. Gebremariam G., Assefa D. (2015). Nitrogen Fertilization Effect on Grain Sorghum (Sorghum bicolor L. Moench) Yield, Yield Components and Witchweed (Striga hermonthica (Del.) Benth) Infestation in Northern Ethiopia. *International Journal of Agricultural Research*, 10, 14–23. https://doi.org/10.3923/ ijar.2015.14.23
15. Дремлюк Г. К., Гамадій В. Л., Гамадій І. В. (2013). Основні елементи технології вирощування сорго. *Довідник українського фермера*, 3, 274–277.
16. Жукова М. П., Гончар-Зайкын П. П. (2002). Выбор и обоснование элементов технологии возделывания сорго. *Производство кормов*, 4, 22–24.
17. Assefa Y., Staggenborg S. A., Prasad P. V. (2010). Grain sorghum water requirement and responses to drought stress: A review. Online. *Crop management*,

9(1). http://dx.doi.org/10.1094/CM-2010-1109-01-RV
18. Maccarthy S. D., Vlek L. G. (2012). Impact of climate change on sorghum production under different nutrient and crop residue management in semi-arid region of China: modeling perspective. *African Crop Science Journal*, 20(2), 275–291. https://www.researchgate.net/publication/267748129
19. Sebnie W., Mengesha M., Girmay G., Tesfaye F., Asgedom B., Beza G., Dejene, D. (2020). Evaluation of micro-dosing fertilizer application on sorghum (Sorghum bicholor L) production at Wag-Lasta Areas of Amhara Region, Ethiopia. *Scientific Reports*, 10, 6889. https://doi.org/10.1038/s41598-020-63851-6
20. Abunyewa A. A., Ferguson R. B., Wortmann C. S., Mason S. C. (2017). Grain sorghum nitrogen use as affected by planting practice and nitrogen rate. *Journal of soil science and plant nutrition*, 17(1), 155–166. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162017005000012
21. Bhutada P. O., Aundhekar R. L., Mehtre S. P. (2019). Effect of different fertilizer levels on yield of grain sorghum genotypes. *International Journal of Chemical Studies*, 7 (3), 1872–1874.
22. Lofton J., Arnall D. B., Sharma S., Nisly C. (2019). Evaluating Starter Fertilizer Applications in Grain Sorghum Production. *Agrosystems, geoscinces and environment*, 2. https://doi.org/10.2134/age2019.01. 0004
23. Pale S., Mason S. C., Taonda J. B. (2009). Water and fertilizer influence on yield of grain sorghum varieties produced in Burkina Faso. *South African Journal of Plant and Soil*, 26 (2), 91–97. https://doi: 10.1080/02571862.2009.10639939
24. Pale S., Taonda S. J. B., Bougouma B., Mason S. C. (2010). Water and fertilizer influence on sorghum grain quality for traditional beer (dolo) production in Burkina Faso. *African Journal of Food Science*, 4(11), 723–734. http://www.academicjournals.org/ajfs
25. Zhang P., Chen X., Wei T., Yang Z., Jia Z., Yang B., Han Q., Ren X. (2016). Effects of straw incorporation on the soil nutrient contents, enzyme activities, and crop yield in a semiarid region of China. *Soil and Tillage Research*, 160, 65–72. https://doi.org/10.1016/j.still.2016.02.006
26. Bayu W., Rethman N. F. G., Hammes P. S., Alemu G. (2006). Effects of Farmyard Manure and Inorganic Fertilizers on Sorghum Growth, Yield, and Nitrogen Use in a Semi-Arid Area of Ethiopia. *Journal of Plant Nutrition*, 29 (2), 391–407. https://doi.org/10.1080/01904160500320962
27. Huang Y., Chen L., Fu B., Huang Z. (2005). The wheat yields and water-use efficiency in the Loess Plateau: Straw mulch and irrigation effects. *Agricultural Water Management*, 72 (3), 209–222. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.09.012
28. 1Hu C., Zheng C., Sadras V. O., Ding M. (2018). Effect of straw mulch and seeding rate on the harvest index, yield and water use efficiency of winter wheat. *Scientific reports*, 8 (1). https://doi.org/10.1038/s41598-018-26615-x
29. Lu X. (2020). A meta-analysis of the effects of crop residue return on crop yields and water use efficiency. *PLoS ONE*, 15 (4). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231740

References

1. Karazhbei, H. M. (2012). Status and prospects of grain sorghum in Ukraine. *Selektsiya ta nassinnytstvo* [Breeding and seed production, 101, 37–42 [in Ukrainian]. http://dx.doi.org/10.30835/ 2413-7510.2012.59749
2. Hospodarenko, H. M., Klymovych, P. V. (2006). Reaction of grain sorghum to fertilizer on podzolic chernozem. *Zbirnyk naukovyh prats Luganskoho NAU* [Collection of scientific works of Luhansk NAU], 69, 20–25 [in Ukrainian]
3. Boiko, M. O. (2016). *Analiz struktury vrozhaiu hibrydiv sorho zernovoho pry riznykh hustotakh posiviv za dvokh strokiv sivby. Ontohenez – stan problemy ta perspektyvy vyvchennia roslyn v kulturnykh ta pryrodnykh tsenozakh* [Analysis of the grain structure structure of grain sorghum hybrids at different crop densities at two sowing dates. Ontogenesis - the state of the problem and prospects for the study of plants in cultural and natural coenoses]: *collection of abstracts of the international conference*. Kherson: RVTs Kolos, 79–80/ [in Ukrainian]
4. Maliarchuk, N. P., Maliarchuk, A. S., Luzhanskyi, I. Yu, Markovska, E. E., Maliarchuk, V. N. (2019). Influence of basic tillage and fertilization systems on soil humus condition and grain sorghum productivity in crop rotation and irrigation. *Bioresourcy ta pryrodne korystuvannya* [Bioresources and nature management], 1–2, 98–107 [in Ukrainian]. https://doi.org/10.31548/bio2019.01.011
5. Kukh, M. V., Sreda, V. Y. (2014). Effect of fertilizer on the yield of grain sorghum varieties. *Zernovoe hozyaystvo v Rossii* [Grain farming in Russia], *3*, 21–27/ [in Russian]
6. Gupta, N., Gupta, A. K., Gaur, V. S., Kumar, A. (2012). Relationship of nitrogen use efficiency with the activities of enzymes involved in nitrogen uptake and assimilation of finger millet genotypes grown under different nitrogen inputs. *The Scientific World Journal*, 10.
7. Mahama, G. Y., Prasad, P. V., Mengel, D. B., Tesso, T. T. (2014). Influence of Nitrogen Fertilizer on Growth and Yield of Grain Sorghum Hybrids and Inbred Lines. *Agronomy Journal*, 106(5), 1623–1630. https://doi.org/10.2134/agronj14.0092
8. Arun, G., Kulamarva, V. R., Sosle, G.S., Vijaya, R. (2009). Nutritional and Rheological Properties of Sorghum. *International Journal of Food Properties*, 12, 55–69. https://doi.org/10.1080/10942910802252148
9. Lutsko, H. (2014). Grain sorghum: a new look at a familiar crop. *Propozitsiya* [Proposal], 3, 68–70. [in Ukrainian]
10. Masebo, N., Menamo, M. (2016). The Effect of Application of Different Rate of N-P Fertilizers Rate on Yield and Yield Components of Sorghum (Sorghum bicolor): Case of Derashe Woreda, SNNPR, Ethiopia. *Journal of Natural Sciences Research*, 6(5), 2224–3186.

11. Melaku, N. D., Bayu, W., Ziadat, F. (2018). Effect of nitrogen fertilizer rate and timing on sorghum productivity in Ethiopian highland Vertisols. *Arch. Agronomy Soil Science*, 64 (4), 480–491. http://dx.doi.org/10.1080/03650340.2017.1362558
12. Maslak, O. (2012). Status and prospects of grain sorghum in Ukraine. *Agrobusness cegodni* [Agribusiness today], 11 (234), 14 p. [in Ukrainian]
13. Kyzyn, V. V., Yliuk, E. N. (2006). Use by plants and features of transformation of ammonium and nitrate nitrogen in different horizons of soddypodzolic soil. *Agrohimiya* [Agrochemistry], *11*, 3–9. [in Russian]
14. Gebremariam, G., Assefa, D. (2015). Nitrogen Fertilization Effect on Grain Sorghum (Sorghum bicolor L. Moench) Yield, Yield Components and Witchweed (Striga hermonthica (Del.) Benth) Infestation in Northern Ethiopia. *International Journal of Agricultural Research*, 10, 14–23. https://doi.org/10.3923/ijar.2015.14.23
15. Dremliuk, H. K., Hamadii, V. L., Hamadii, I. V. (2013). The main elements of sorghum growing technology. *Dovidnyk ukrainskogo fermera* [Handbook of Ukrainian farmer], *3*, 274–277. [in Ukrainian]
16. Zhukova, M. P., Honchar-Zaikyn, P. P. (2002). Selection and justification of the elements of sorghum cultivation technology. *Proizvodstvo kormov* [Feed production], *4*, 22–24 [in Russian]
17. Assefa, Y., Staggenborg, S. A., Prasad, P. V. (2010). Grain sorghum water requirement and responses to drought stress: A review. Online. *Crop management*, 9(1). http://dx.doi.org/10.1094/CM-2010-1109-01-RV
18. Maccarthy, S. D., Vlek, L. G. (2012). Impact of climate change on sorghum production under different nutrient and crop residue management in semi-arid region of China: modeling perspective. *African Crop Science Journal*, 20(2), 275–291. https://www.researchgate.net/publication/267748129
19. Sebnie, W., Mengesha, M., Girmay, G., Tesfaye, F., Asgedom, B., Beza, G., Dejene, D. (2020). Evaluation of micro-dosing fertilizer application on sorghum (Sorghum bicholor L) production at Wag-Lasta Areas of Amhara Region, Ethiopia. *Scientific Reports*, 10, 6889. https://doi.org/10.1038/s41598-020-63851-6
20. Abunyewa, A. A., Ferguson, R. B., Wortmann, C. S., Mason, S. C. (2017). Grain sorghum nitrogen use as affected by planting practice and nitrogen rate. *Journal of soil science and plant nutrition*, 17(1), 155–166. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162017005000012
21. Bhutada, P. O., Aundhekar, R. L., Mehtre, S. P. (2019). Effect of different fertilizer levels on yield of grain sorghum genotypes. *International Journal of Chemical Studies*, 7(3), 1872–1874.
22. Lofton, J., Arnall, D. B., Sharma, S., Nisly, C. (2019). Evaluating Starter Fertilizer Applications in Grain Sorghum Production. *Agrosystems, geoscinces and environment*, 2. https://doi.org/10.2134/age2019.01.0004
23. Pale, S., Mason, S. C., Taonda, J. B. (2009). Water and fertilizer influence on yield of grain sorghum varieties produced in Burkina Faso. *South African Journal of Plant and Soil*, 26 (2), 91–97. https://doi: 10.1080/02571862.2009.10639939
24. Pale, S., Taonda, S. J. B., Bougouma, B., Mason, S. C. (2010). Water and fertilizer influence on sorghum grain quality for traditional beer (dolo) production in Burkina Faso. *African Journal of Food Science*, 4(11), 723–734. http://www.academicjournals.org/ajfs
25. Zhang, P., Chen, X., Wei, T., Yang, Z., Jia Z., Yang, B., Han, Q., Ren, X. (2016). Effects of straw incorporation on the soil nutrient contents, enzyme activities, and crop yield in a semiarid region of China. *Soil and Tillage Research*, 160, 65–72. https://doi.org/10.1016/j.still.2016.02.006
26. Bayu, W., Rethman, N. F. G., Hammes, P. S., Alemu, G. (2006). Effects of Farmyard Manure and Inorganic Fertilizers on Sorghum Growth, Yield, and Nitrogen Use in a Semi-Arid Area of Ethiopia. *Journal of Plant Nutrition*, 29(2), 391–407. https://doi.org/10.1080/01904160500320962.
27. Huang, Y., Chen, L., Fu B., Huang, Z. (2005). The wheat yields and water-use efficiency in the Loess Plateau: Straw mulch and irrigation effects. *Agricultural Water Management*, 72(3), 209–222. https://doi.org/ 10.1016/j.agwat.2004.09.012.
28. Hu C., Zheng, C., Sadras, V. O., Ding, M. (2018). Effect of straw mulch and seeding rate on the harvest index, yield and water use efficiency of winter wheat. *Scientific reports*, 8 (1). https://doi.org/10.1038/s41598-018-26615-x.
29. Lu, X. (2020). A meta-analysis of the effects of crop residue return on crop yields and water use efficiency. *PLoS ONE*, 15(4). https://doi.org/10.1371/journal.pone. 0231740.

UDC: 631.816:631.582

Ivanina V. V., Pashynska K. L. Formation of the nutrient balance in grain sorghum (Sorghum Bicolor L.) crops under different fertilization systems.

Grain Crops. 2022. 6 (1). 186–193.

Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beets NAAS, 25 Klinichna St., Kyiv, 03141, Ukraine.

Topicality. In recent years, the sown area of grain sorghum in the Forest-Steppe zone has significantly increased. This is a new soil and ecological niche for this crop, where fertilization issues require in-depth study and are therefore relevant. The basis of an effective and ecologically stable fertilization system is the formation of nutrients balance in the soil, which provides a stable basis for growing grain sorghum. **Aim.** To study the peculiarities of the nutrient consumption of grain sorghum plants under the mineral and alternative organomineral fertilizer systems on leached chernozem, and to form a paradigm of ecologically balanced and cost-effective fertilizer applica-

tion. **Materials and methods**. Temporary field, analytical and computational research methods were used to determine the removal and balance of nutrients. **Results**. The research results showed the influence of fertilizer systems on grain yield, removal and balance of nutrients in grain sorghum crops. It was found that the biological yield of grain sorghum consumes a large amount of nutrients, which are unevenly distributed among its components. The grain sorghum yield mainly removes nitrogen, the yield of stem mass – mainly potassium and a significant amount of nitrogen. To ensure a stable growing this crop and to form a nutrient balance in the soil, it is important to leave the non-marketable part of the crop yield in the field. It was substantiated that the alternative organomineral fertilizer system is able to form a nutrient balance in the soil and ensure high grain yield for growing grain sorghum on leached chernozem in conditions of sufficient moisture content in the Forest-Steppe of Ukraine. **Conclusions.** In control variant without fertilizers, grain sorghum plants with grain yield of 6.09 t/ha removed nitrogen – 105 kg/ha, phosphorus – 24 kg/ha, potassium – 27 kg/ha, with stem yield of 26.1 t/ha – 58, 12 and 140 kg/ha, respectively. It was noted that the high productive and environmentally sustainable fertilizer system with a grain yield of more than 8.5 t/ha was the system, in which a non-marketable part of the grain sorghum yield was remained in the field and 4 t/ha of straw + $N_{120}P_{120}K_{120}$ was applied under plowing in autumn. Under such conditions, a deficit-free nitrogen balance (-4 kg/ha) was formed and significant reserves of phosphorus and potassium accumulated in the soil (94 and 134 kg/ha, respectively). If the non-marketable part of the grain sorghum yield is left in the field, it is rational to apply only nitrogen and phosphorus fertilizers under the alternative organomineral fertilizer system – 4 t/ha of straw + $N_{120}P_{30}$. Such a fertilizer system forms a nutrient balance in the soil, significantly reduces the costs for fertilizers, and increases the accumulation of organic matter.

Key words: *grain sorghum, nutrients, fertilizer system, removal and balance.*