

ВПЛИВ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ НА ФОРМУВАННЯ БАЛАНСУ ЕЛЕМЕНТІВ ЖИВЛЕННЯ В ПОСІВАХ СОРГО ЗЕРНОВОГО

Іваніна Вадим Віталійович

доктор сільськогосподарських наук

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків Національної академії аграрних наук України,

м. Київ, Україна

ORCID: 0000-0002-9471-114X

v_ivanina@ukr.net

Пашинська Катерина Леонідівна

аспірант

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків Національної академії аграрних наук України,

м. Київ, Україна

ORCID: 0000-0002-5519-3087

k.pashynska@gmail.com

Вперше в умовах достатнього зволоження Лісостепу України за вирощування сорго зернового на чорноземі вилугуваному обґрунтовано систему удобрення, яка формує врівноважений баланс елементів живлення у ґрунті та забезпечує отримання врожайності зерна понад 8,5 т/га. Встановлено, що рослини сорго зернового з товарною продукцією із 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. За вирощування на чорноземі вилугуваному сорго зернове позитивно відегукувалось на внесення високих доз мінеральних добрив. За відчуження із поля нетоварної частини врожаю внесення дози добрив N120P120K120 забезпечило врожайність зерна – 7,91 т/га, стебел – 28,3 т/га зі збільшенням до контролю без добрив – відповідно на 1,82 та 2,2 т/га. За зазначеної системи удобрення 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. Підвищенню врожайності сорго зернового сприяло застосування альтернативної органо-мінеральної системи удобрення. За внесення 4 т/га соломи + N120P120K120 врожайність зерна становила 8,54 т/га з підвищенням контролю без добрив – на 2,45 т/га. Така система удобрення забезпечила високу економічну ефективність вирощування сорго зернового, однак не формувала врівноваженого балансу елементів живлення у ґрунті. За внесення 4 т/га соломи + N120P120K120 дефіцит азоту у ґрунті зберігався на рівні 74 кг/га, калію – 31 кг/га за позитивного балансу фосфору 79 кг/га. Найбільш продуктивною та екологічно стабільною визначено систему удобрення, яка передбачала вносити з осені під оранку 4 т/га соломи + N120P120K120 та залишати нетоварну частину врожаю сорго зернового на полі. За таких умов формувався практично бездефіцитний баланс азоту (–4 кг/га) і накопичувались значні запаси фосфору і калію у ґрунті – відповідно 94 та 134 кг/га. За залишання нетоварної частини врожаю сорго зернового на полі раціональним за альтернативної органо-мінеральної системи удобрення є внесення з осені під оранку лише азотних та фосфорних добрив – 4 т/га соломи + N120P30. Така система удобрення формуватиме урівноважений баланс елементів живлення у ґрунті та істотно зменшить витрати на удобрення.

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

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.1.9>

Вступ. Сорго зернове є однією з найбільш перспективних зернових культур здатних давати стабільно високі врожаї зерна в умовах глобального потепління (Karazhbei, 2012; Bazalii та ін., 2015). Зерно цієї культури має високу кормову та харчову цінність: містить крохмалю – 70–75%, білка – 12–14%, жиру – 35%. З врожайністю зерна 5–6 т/га сорго зернове виносить 140–160 кг азоту, 50–60 кг фосфору і 150–180 кг калію (Hospodarenko, Klymovych, 2006). Більшість ґрунтів у регіонах вирощування сорго зернового здатні лише наполовину забезпечувати потребу рослин в елементах живлення, тому застосування добрив є одним із найбільш важливих чинників, що визначає врожайність та якість зерна цієї культури (Voiko, 2016; Maliarchuk et al., 2019).

Важливим аспектом сучасного землеробства є дотримання умов сталості вирощування сільсько-

господарських культур. Сорго зернове є недостатньо вивчена культура з позицій виносу та балансу елементів живлення, не сформована парадигма екологічно збалансованого застосування добрив під цю культуру (Hospodarenko, Klymovych, 2006; Kukh, Sreda, 2014).

За даними досліджень Gupta et al. (2012), Mahata et al. (2014) провідна роль в отриманні високих врожаїв сорго зернового належить азоту, менша – фосфору і калію. 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%, дозі 90 кг/га – на 48% (Arun et al., 2009).

Ряд дослідників вважає, що при вирощуванні сорго зернового необхідно уникати надмірно високих доз

азотних добрив (Lutsko, 2014; Mahama et al., 2014; Masebo & Menamo, 2016; Melaku et al., 2018). Невиправдано високі дози азоту не тільки не збільшували врожайність зерна, вони спричинили надмірний розвиток вегетативної маси, у рослин затягувався процес дозрівання (Maslak, 2012), знижувалась стійкість рослин до враження попелицями, зростало накопичення ціанідів та нітратів у зеленій масі (Kuzun, Yliuk, 2006), 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 (Gebremariam & Assefa, 2015; Masebo & Menamo, 2016). Hospodarenko, Klymovych (2006) зазначають, що 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 N90P90K90. Зазначена система удобрення забезпечила врожайність зерна 8,6 т/га, вміст протеїну – 11,5%.

Ряд досліджень вказує на високу ефективність поєданого застосування органічних і мінеральних добрив в посівах сорго зернового (Dremliuk et al., 2013; Zhukova, Nonchar-Zaikun, 2002).

Мета дослідження – вивчити особливості використання та балансу елементів живлення рослинами сорго зернового за застосування мінеральної та альтернативної орґано-мінеральної систем удобрення на чорноземі вилугуваному та сформувати парадигму збалансованої системи удобрення.

Матеріали і методи досліджень. Дослідження проводили в умовах тимчасового польового досліді (2017–2019 рр.) після вирощування пшениці озимої на Уладово-Люлинецькій дослідно-селекційній станції, зона достатнього зволоження Лісостепу України.

Площа посівної ділянки – 75 м², облікової – 50 м². Розміщення варіантів у досліді – систематичне послідовне, повторність чотириразова. У досліді 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: рН 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 Тюрнімом – 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. У якості альтернативного органічного добрива вносили солому пшениці озимої. 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'ельдалем згідно з ДСТУ 7169-2010, фосфор – згідно з ГОСТ 26657-97, калій – на полуменовому фотометрі.

Результати. Дослідження показали, що за вирощування сорго зернового упродовж 2017–2019 років 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).

Застосування мінеральних добрив під оранку в дозі N60P60K60 збільшило врожайність зерна порівняно з контролем без добрив на 0,68 т/га, стебел – на 0,7 т/га та підвищило винос рослинами із 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.

Таблиця 1

Винос елементів живлення рослинами сорго зернового за різних систем 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	N60P60K60	6,77	119	27	30	26,8	60	12	146
3	N90P90K90	7,43	132	31	32	27,9	66	13	152
4	N120P120K120	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 + N60P60K60	7,36	128	29	35	27,9	63	14	156
7	Солома 4 т/га + N90P90K90	7,99	139	31	38	29,2	68	15	165
8	Солома 4 т/га + N120P120K120	8,54	148	34	42	29,7	70	15	173
	НІР05	0,47				1,3			
	P, %	3,2				3,5			

Примітка: варіанти 2, 3, 4 – мінеральна система удобрення; варіанти 6, 7, 8 – орґано-мінеральна система удобрення

За вирощування на чорноземі вилугуваному сорго зернове позитивно відгукувалось на внесення високих доз мінеральних добрив. За збільшення дози добрив до N120P120K120 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. За зазначеної дози 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.

Врожайність сорго зернового істотно зростала за застосування альтернативної органо-мінеральної системи удобрення. За внесення 4 т/га соломи + N60P60K60 врожайність зерна становила 7,36 т/га, 4 т/га соломи + N90P90K90 – 7,99, 4 т/га соломи + N120P120K120 – 8,54 т/га з перевищенням контролю без добрив – відповідно на 1,27, 1,90 та 2,45 т/га.

Найбільший винос елементів живлення біологічним врожаєм сорго зернового спостерігали за внесення 4 т/га соломи + N120P120K120: 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 формувался 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 N60P60K60 незначно покращило біологічний баланс елементів живлення у чорноземі вилугуваному. За відчуження із поля побічної продукції у ґрунті зберігався високий дефіцит азоту (–119 кг/га) і калію (–116 кг/га) і формувался 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 формувался позитивним – відповідно 33 та 30 кг/га.

У разі відчуження із поля побічної продукції застосування більш високих доз добрив

N90P90K90 та N120P120K120 не покращило істотно показників балансу. Так, за дози N120P120K120 дефіцит азоту у ґрунті зберігався на рівні 87 кг/га, калію – 72 кг/га за позитивного балансу фосфору 46 кг/га.

Високий стабілізаційний вплив на баланс елементів живлення у ґрунті мало внесення мінеральних добрив за умови, коли побічна продукція сорго зернового залишалась на полі. За залишання побічної продукції на полі внесення N120P120K120 формувало незначний дефіцит азоту (–19 кг/га) і сприяло значному накопиченню у ґрунті фосфору і калію за їх позитивного балансу – відповідно 89 та 83 кг/га.

Показники балансу елементів живлення в чорноземі вилугуваному істотно покращувались, коли мінеральні добрива виносили на фоні соломи, а стеблову масу сорго зернового залишали на полі. За таких умов внесення 4 т/га соломи + N120P120K120 формувало практично бездефіцитний баланс азоту (–4 кг/га) і супроводжувалось високим позитивним балансом фосфору і калію – відповідно +94 та +134 кг/га. У разі відчуження побічної продукції із поля внесення 4 т/га соломи + N120P120K120 зберігало дефіцит азоту у ґрунті на рівні –74 кг/га та калію – на рівні –31 кг/га.

Обговорення. Сорго зернове є адаптованою культурою до вирощування в умовах достатнього зволоження Лісостепу України на чорноземах вилугуваних. За надто посушливих погодних умов останніх років сорго зернове за вирощування без внесення добрив формувало досить високу врожайність зерна – понад 6 т/га. Ці дані узгоджуються з дослідженнями Господаренка, Климович (2006).

Незважаючи на те, що родючість чорнозему вилугуваного є досить високою сорго зернове позитивно відгукувалось на застосування достатньо високих доз мінеральних добрив (N120P120K120), збільшивши врожайність зерна на 1,82–2,45 т/га. Високу ефективність застосування мінеральних добрив в посівах сорго зернового спостерігали в дослідженнях Abunyewa et al. (2017), Bhutada et al. (2019), Lofton et al. (2019), Mahama et al. (2014), Masebo et al. (2016), Melaku et al. (2018).

Підтвердився той факт, що сорго зернове має хороші перспективи у вирішенні проблеми продовольства та отримання фуражного зерна за умов, коли посушливість клімату буде і надалі зростати (Assefa et al., 2010; Maccarthy, Vlek, 2012; Sebnie et al., 2020). Встановлено,

Таблиця 2

Баланс елементів живлення в агроценозі сорго зернового за різних систем удобрення, 2017–2019 рр., ± кг/га

№ вар.	Варіант	Відчуження стебел із поля			Без відчуження стебел із поля		
		N	P	K	N	P	K
1	Без добрив (контроль)	–163	–36	–167	–105	–24	–27
2	N60P60K60	–119	21	–116	–59	33	30
3	N90P90K90	–108	46	–94	–42	59	58
4	N120P120K120	–87	74	–72	–19	89	83
5	Солома 4 т/га	–145	–29	–120	–85	–16	27
6	Солома 4 т/га + N60P60K60	–107	25	–75	–44	39	81
7	Солома 4 т/га + N90P90K90	–93	52	–57	–25	67	108
8	Солома 4 т/га + N120P120K120	–74	79	–31	–4	94	134

Примітка: варіанти 2, 3, 4 – мінеральна система удобрення; варіанти 6, 7, 8 – органо-мінеральна система удобрення

що сорго зернове з біологічним врожаєм 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. Такий агротехнічний захід істотно зменшить внос із ґрунту калію та азоту та поповнить ґрунт органічною речовиною. Позитивний вплив органічних добрив на поживний режим та стан органічної речовини ґрунту відмічено у низці дослідженнях (Bayu et al., 2006; Huang et al., 2005; Hu et al., 2018; Lu, 2020).

Встановлено високу ефективність альтернативної орґано-мінеральної системи удобрення під сорго зернове. За поєданого внесення мінеральних добрив і соломи пшениці озимої чорнозем вилугуваний додатково поповнювався елементами живлення (переважно калієм), збагачувався органічною речовиною, при цьому врожайність сорго зернового істотно підвищувалась. Ряд дослідників відмічають вагомий роль альтернативної орґано-мінеральної системи удобрення у збереженні і раціональному використанні вологи ґрунту, що є вкрай важливим в епоху глобального потепління (Pale et al., 2009, 2010; Zhang et al., 2016).

Отже, досягнення високих показників врожайності зерна сорго зернового та формування позитивного

балансу елементів живлення у ґрунті лежить у площині застосування альтернативної орґано-мінеральної системи удобрення та залишання стеблової маси сорго зернового на полі. Такий агрохімічний захід є економічно ефективним і екологічно стабільним та формує сталі засади вирощуванні цієї культури у тривалій перспективі.

Висновки. Рослини сорго зернового з товарною продукцією із ґрунту виносили переважно азот, побічною – переважно калієм. На контролі без добрив внос 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 + N120P120K120. За таких умов формувалася практично бездефіцитний баланс азоту (–4 кг/га) і накопичувались значні запаси фосфору і калію у ґрунті – відповідно 94 та 134 кг/га.

За залишання нетоварної частини врожаю сорго зернового на полі раціональним за альтернативної орґано-мінеральної системи удобрення є внесення з осені під оранку лише азотних та фосфорних добрив – 4 т/га соломи + N120P30. Така система удобрення формуватиме урівноважений баланс елементів живлення у ґрунті та істотно зменшить витрати на удобрення.

Бібліографічні посилання:

1. 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>
2. 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. doi: 10.1080/10942910802252148
3. 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). doi: 10.1094/CM-2010-1109-01-RV
4. 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. doi: 1080/01904160500320962
5. Bazalii, V. V., Boiko, M. O., Almashova, V. S., & Onyshchenko, S. O. (2015). Roslynnyski aspekty ta ahroekolohichni zasady vyroshchuvannia sorho zernovoho na Pivdni Ukrainy [Plant aspects and agroecological principles of grain sorghum cultivation in the South of Ukraine]. *Taurian Scientific Bulletin*, 91, 3–6 (in Ukrainian).
6. 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.
7. 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. RVTs «Kolos». Kherson. 79–80 (in Ukrainian).
8. Dremluk, H. K., Hamadii, V. L., & Hamadii, I. V. (2013). Osnovni elementy tekhnolohii vyroshchuvannia sorho [The main elements of sorghum growing technology]. *Handbook of Ukrainian farmer*, 3, 274–277 (in Ukrainian).
9. 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. doi: 10.3923/ijar.2015.14.23
10. 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.
11. Hospodarenko, H. M., & Klymowych, P. V. (2006). Reaktsiia sorho zernovoho na udobrennia na chornozemi opidzolenomu [Reaction of grain sorghum to fertilizer on podzolic chernozem]. Collection of scientific works of Luhansk NAU, 69, 20–25 (in Ukrainian).

12. 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). doi: 10.1038/s41598-018-26615-x
13. 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. doi: 10.1016/j.agwat.2004.09.012
14. Karazhbei, H. M. (2012). Stan i perspektyvy sorho zernovoho v Ukraini [Status and prospects of grain sorghum in Ukraine]. *Breeding and seed production*, 101, 37–42 (in Ukrainian). doi: 10.30835/2413-7510.2012.59749
15. Kukh, M. V., & Sreda, V. Y. (2014). Vliianie udobrenia na urozhainost sortov sorho zernovoho [Effect of fertilizer on the yield of grain sorghum varieties]. *Grain farming in Russia*, 3, 21–27 (in Russian).
16. Kyzyn, V. V., & Yliuk, E. N. (2006). Ispolzovanie rasteniami i osobenosti transformatsii ammoniynoho i nitratnoho azota raznykh horizontov dernovo-podzolistoi pochvy [Use by plants and features of transformation of ammonium and nitrate nitrogen in different horizons of soddy-podzolic soil]. *Agrochemistry*, 11, 3–9 (in Russian).
17. Lofton, J., Arnall, D. B., Sharma, S., & Nisly, C. (2019). Evaluating Starter Fertilizer Applications in Grain Sorghum Production. *Agrosystems, geosciences and environment*, 2. doi: 10.2134/age2019.01.0004
18. Lu, X. (2020). A meta-analysis of the effects of crop residue return on crop yields and water use efficiency. *PLoS ONE*, 15(4). doi: 10.1371/journal.pone.0231740
19. Lutsko, H. (2014). Sorho zernove: novyi pohliad na znaiomu kulturu [Grain sorghum: a new look at a familiar crop]. *Proposition*, 3, 68–70 (in Ukrainian).
20. 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>
21. 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/agnonj14.0092>
22. Maliarchuk, N. P., Maliarchuk, A. S., Luzhanskyi, I. Yu, Markovska, E. E., & Maliarchuk, V. N. (2019). Vplyv system osnovnoho obrobittu ta udobrennia na humusovyi stan gruntu i produktyvnist sorho zernovoho u sivozmini ta zroshenni [Influence of basic tillage and fertilization systems on soil humus condition and grain sorghum productivity in crop rotation and irrigation]. *Bioresources and nature management*, 1–2, 98–107 (in Ukrainian). doi: 10.31548/bio2019.01.011
23. 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.
24. Maslak, O. (2012). Stan i perspektyvy sorho zernovoho v Ukraini [Status and prospects of grain sorghum in Ukraine]. *Agribusiness today*, 11(234), 14 (in Ukrainian).
25. 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. doi: 10.1080/03650340.2017.1362558
26. 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. doi: 10.1080/02571862.2009.10639939
27. 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. Access mode: <http://www.academicjournals.org/ajfs>
28. 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>
29. 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. doi: 10.1016/j.still.2016.02.006
30. Zhukova, M. P., & Honchar-Zaikyn, P. P. (2002). Vybor i obosnovanie elementov tekhnolohii vozdelevania sorho [Selection and justification of the elements of sorghum cultivation technology]. *Feed production*, 4, 22–24 (in Russian).

Ivanina V. V., Doctor (Agricultural Sciences), Institute Bioenergy Crops and Sugar Beet, Kiev, Ukraine

Pashynska K. L., PhD student, Institute Bioenergy Crops and Sugar Beet, Kiev, Ukraine

Formation of nutritional balance in grain sorghum crops under different fertilizer systems

For the first time in conditions of sufficient moisture of the Forest-Steppe of Ukraine for growing grain sorghum on leached chernozem, an efficient fertilization system was substantiated, which forms a balanced balance of nutrients in the soil and provides grain yield over 8.5 t/ha. It was established that grain sorghum plants with grain yield removed mainly nitrogen from the soil, with by-product – mainly potassium. In the control without fertilizers, the removal of nitrogen with grain yield (6.09 t/ha) was 105 kg/ha, phosphorus – 24, potassium – 27, with stems yield (26.1 t/ha) – 58, 12 and 140 kg/ha, respectively. When cultivating on leached chernozem, grain sorghum responded positively to the application of high doses of mineral fertilizers. Under the alienation of non-commodity part of crop yield from the field, application fertilizer at a dose of N120P120K120 provided grain yield of 7.91 t/ha, stems – 28.3 t/ha with an increase to the control without fertilizers – by 1.82 and 2.2 t/ha, respectively. At this dose of fertilizers grain sorghum plants removed from the soil with biological yield of nitrogen – 207 kg/ha, phosphorus – 46, potassium – 192 with an increase to control without fertilizers – by 40, 10 and 25 kg/ha, respectively. The use of an alternative organic-mineral fertilizer system contributed to further increase in grain sorghum yield. With the application of 4 t/ha straw + N120P120K120, the grain yield was 8.54 t/ha, exceeding the control without fertilizers – by 2.45 t/ha. This fertilizer system ensured high economic efficiency of grain sorghum

cultivation, but did not form a balanced balance of nutrients in the soil. With the application of 4 t/ha straw + N120P120K120 nitrogen deficiency in the soil remained at the level of 74 kg/ha, potassium – 31 kg/ha with a positive phosphorus balance of 79 kg/ha. The most productive and ecologically stable was the fertilizer system, which based on leaving the non-marketable part of grain yield of sorghum crop in the field and provide applying 4 t/ha straw + N120P120K120 under plowing in autumn. Under such conditions, a virtually deficient nitrogen balance was formed (-4 kg/ha) and significant reserves of phosphorus and potassium accumulated in the soil of 94 and 134 kg/ha, respectively. If the non-commodity part of the grain sorghum crop is left in the field, it is rational to apply only nitrogen and phosphorus fertilizers under the alternative organic-mineral fertilizer system – 4 t/ha straw + N120P30. Such a fertilizer system will form a balanced balance of nutrients in the soil and significantly reduce fertilizer costs.

Key words: grain sorghum, nutrients, system of fertilizers, uptake, balance.