

ОПТИМІЗАЦІЯ АЗОТНО-СІРКОВОГО ЖИВЛЕННЯ СОРГО СУДАНСЬКОГО (SORGHUM × DRUMMONDII) В УМОВАХ НЕСТІЙКОГО ЗВОЛОЖЕННЯ

Є.Ю. Гладкіх¹, М.М. Мірошниченко², О.П. Сябрук³

^{1,3}кандидати сільськогосподарських наук

²доктор біологічних наук, член-кореспондент НААН

ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»

вул. Чайковська, 4, м. Харків, 61024, Україна

e-mail: ¹ye.hladkikh@ukr.net, ²ecosoil@meta.ua, ³syabryk86@gmail.com

ORCID: ¹0000-0002-4852-0502, ²0000-0003-2830-5933, ³0000-0001-9521-4607

Надійшла 29.09.2022

Мета. Установити оптимальне співвідношення сірки з азотом у складі мінеральних добрив для удобрення сорго суданського в умовах нестійкого зволоження впродовж вегетаційного періоду. **Методи.** Польовий дослід проведено на чорноземі типовому важкосуглинковому ДП «ДГ «Граківське» ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського» (Харківський р-н Харківської обл.), де вивчали зміну співвідношення NPK:S у складі мінеральних добрив у посівах сорго суданського; лабораторно-аналітичні дослідження виконували згідно з діючими державними стандартами; статистично-математичний аналіз отриманих даних здійснено за допомогою програми STATISTICA 13. Розраховано показники ефективності використання (NUE) та поглинання (NUpE) азоту рослинами. **Результати.** З передпосівним унесенням сірки з добривами нормою $S_{20} - S_{40}$ під час кушіння збільшився вміст її рухомих форм у шарі ґрунту 0–20 см з 9 до 15–44 мг/кг, що звузило співвідношення доступних форм N:S з 3,3:1 до 2,5–0,8:1. Це позитивно позначилося на накопиченні вологи в тканинах рослин і врожайності зеленої маси сорго суданського. За внесення $N_{100}P_{60}K_{60}S_{20}$ отримано максимальний урожай зеленої маси – 52,2 т/га порівняно з 39,4 т/га без сіркового компонента. Найвищий вміст елементів живлення (N – 1,7%, P – 0,55%, K – 1,5%) у скошеній зеленій масі спостерігався за внесення $N_{100}P_{60}K_{60}S_{20-40}$, що в сукупності зі збільшенням урожайності підвищило винос поживних речовин урожаєм у 1,1–1,5 рази. Показники ефективності використання азоту підтверджують доцільність додавання сірки до складу добрив, а її оптимальною дозою на фоні $N_{100}P_{60}K_{60}$ є 20 кг/га. **Висновки.** Додавання сірки в сульфатній формі до складу мінеральних добрив для передпосівного внесення під посіви сорго суданського на чорноземі типовому важкосуглинковому оптимізує азотно-фосфорно-сіркове живлення рослин, сприяє збільшенню обводнення тканин, підвищує ефективність використання азоту рослинами та окупність добрив урожаєм. На фоні $N_{100}P_{60}K_{60}$ оптимальною нормою додавання сірки є S_{20} , збільшення її до S_{60} послаблює позитивний ефект.

Ключові слова: сульфат амонію, удобрення, рухома сірка, урожайність, ефективність добрив.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agroviznyk202211-02>

Оптимізація систем удобрення сільськогосподарських культур — одна з передумов стабілізації виробництва рослинницької продукції за дефіциту мінеральних добрив, зокрема азотних, який склався за воєнного стану в Україні. З іншого боку, євроінтеграція країни потребує імплементації вимог законодавства ЄС щодо зменшення забруднення ґрунтів і підґрунтових вод сполуками нітрогену від сільськогосподарських джерел унаслідок застосування азотних добрив [1]. Тому слід удосконалити методи управління азотним живленням сільськогосподарських культур, які забезпечать максимально можливе використання азоту добрив і зменшать його непродуктивні втрати.

Одним із чинників, що сприяє кращому використанню азоту з ґрунту і добрив, є достатнє забезпечення рослин сіркою. Метаболізм сірки та азоту в рослинах тісно пов'язані, оскільки обидва елементи живлення необхідні для S-містких амінокислот (цистеїну і метіоніну), синтезу білка і різних інших клітинних компонентів разом із тіолом і вторинними S-місткими сполуками, які відіграють важливу роль у захисті рослин від стресу і шкідників [2, 3]. Дефіцит сірки знижує поглинання азоту й активність нітратредуктази в рослинах [4]. Автори [5] відзначили, що добриво з високим вмістом сірки підвищує вміст хлорофілу, поліпшує фотосинтетичну активність і збільшує вміст білка в кормових культурах. Сірковибагливим культурам потрібно стільки сірки, скільки й інших основних елементів живлення [6–9].

Останніми роками дефіцит сірки в посівах сільськогосподарських культур збільшується через заміну сірковмісних добрив (суперфосфат, калімагнезія, сульфат амонію) на більш концентровані комплексні добрива, збільшення вносу сірки з урожаєм, зниження аеротехномічного надходження через скорочення низки виробництв і нові технології очищення викидів в атмосферу [10]. Згідно з результатами агрохімічної паспортизації в Україні ґрунти з низьким вмістом рухомої сірки займають 27% (3155,2 тис. га) від обстеженої площі,

з дуже низьким — 11% (1314,5 тис. га) [11]. За дефіциту сірки важко реалізувати потенціал сучасних високопродуктивних сортів сільськогосподарських культур, навіть за найкращих практик землеробства [12].

За таких умов відсутність S у складі внесених тукосумішей обмежує ефективність азотних добрив [13], що особливо помітно в посівах сірковибагливих культур — гірчиці, ріпаку тощо [14, 15].

Сорго суданське (*Sorghum × drummondii*) є однією з найпоширеніших в усьому світі однорічних злакових кормових культур, перспективною для посушливих регіонів, її значення для продовольчої безпеки лише посилюється в зв'язку зі змінами клімату. З великою надземною масою сорго суданське може відчувувати з ґрунту 200–380 кг/га азоту [16]. За достатнього вологозабезпечення і навіть за помірно посушливого вегетаційного періоду врожайність сорго збільшується пропорційно внесеному азоту в дозах до 200 кг/га [17]. Посилення посушливих умов призводить до неефективного використання азоту добрив і збільшує накопичення нітратного азоту в рослинах, що спричиняє отруєння тварин. Критичним рівнем вмісту нітратів у ґрунті, за якого спостерігається перевищення норм їхнього накопичення в рослинному кормі, вважають 40 мг/кг [18]. Отже, оптимізація азотного живлення сорго суданського має економічне, екологічне та санітарно-гігієнічне значення. Робочою гіпотезою було припущення, що за сучасних агрохімічних умов на сільськогосподарських землях України можна підвищити ефективність споживання азоту за рахунок збалансування азотної та сіркової складових у системі удобрення.

Мета досліджень — установити оптимальне співвідношення сірки з азотом у складі мінеральних добрив для удобрення сорго суданського в умовах нестійкого зволоження впродовж вегетаційного періоду.

Матеріали та методи досліджень. Для досягнення мети було закладено коротко-

строковий польовий дослід на території ДП «ДГ «Граківське» ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського» (Харківський р-н Харківської обл.) з вивчення впливу зміни співвідношення NPK:S у складі мінеральних добрив у посівах сорго суданського. Мінеральні добрива було внесено під передпосівну культивуацію у вигляді нітроамофоски, аміачної селітри та сульфату амонію згідно з такою схемою дослідів: 1. $N_{100}P_{60}K_{60}S_0$; 2. $N_{100}P_{60}K_{60}S_{20}$ (співвідношення N:S становить 5:1); 3. $N_{100}P_{60}K_{60}S_{40}$ (N:S=2,5:1); 4. $N_{100}P_{60}K_{60}S_{60}$ (N:S=1,7:1). Сівбу проводили в III декаді квітня, облік урожаю — у I декаді серпня. Площа елементарної ділянки становила 74,25 м², дослід закладено в 3-разовій повторності.

Проби ґрунту відбирали на глибині 0–20 см на початку вегетації і під час обліку врожаю зеленої маси сорго суданського з наступним визначенням вмісту мінерального азоту за ДСТУ [19], рухомої сірки — за ДСТУ [20], вологості — термостатно-ваговим методом.

Відбір рослинних зразків проводили у фазі викидання волоті сорго суданського з подальшим визначенням загального вмісту води, вмісту вільної та зв'язаної води за допомогою портативного рефрактометра (RNB 0-90(REF107, NT119) та під час обліку врожаю з визначенням вмісту загального азоту, фосфору і калію в одній навазці після мокрого озолення за Гінзбургом.

Для оцінки азотного живлення застосовували індекс NUtE — показник ефективності використання азоту рослинами згідно з формулою (1) та індекс NUpE — показник ефективності поглинання азоту згідно з формулою (2) [21]:

$$N_{UtE} = \frac{Yield}{N_{plant}}, \quad (1)$$

де Yield — урожайність, т/га; N_{plant} — загальний вміст азоту в рослинах, %.

$$N_{UpE} = \frac{Plant\ N}{Fertilizer\ N + Soil\ N} \cdot 100, \quad (2)$$

де Plant N — винос азоту рослинами, кг/га; Fertilizer N — кількість азоту, внесеного з добривами, кг/га; Soil N — запас мінерального азоту в шарі ґрунту 0–20 см, кг/га.

Результати досліджень. Гідротермічні умови 2021 р. загалом відповідали сучасній тенденції підвищення температури повітря та зменшення кількості опадів у теплий період року (табл. 1). При цьому вологозабезпечення вегетаційного періоду було дуже контрастним: достатня кількість опадів у квітні–червні змінилася сильною посухою в липні–серпні. Згідно з даними моніторингу запасів продуктивної вологи у 2021 р., який проводили на ДП «ДГ «Граківське» ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського», з початком липневої посухи відбулося різке скорочення запасів продуктивної вологи з 155 до 46 мм у метровому шарі ґрунту і з 34 мм до 5 мм у шарі 0–20 см, що недостатньо для формування добре розвинутих рослин.

З унесенням мінеральних добрив у застосованій у досліді нормі створилися сприятливі умови азотного живлення на початку вегетації рослин, оскільки з N_{100} до орного шару надходить азоту близько 25–30 мг/кг ґрунту. Додавання до складу тукоsumіші сірки нормою до 40 кг/га сприяло збільшенню концентрації мінерального азоту в ґрунті, але вже за норми S_{60} цей ефект майже зник (табл. 2).

1. Погодні умови вегетаційного періоду

Місяць	Температура повітря, °C		Кількість опадів, мм	
	у 2021 р.	середня багаторічна	у 2021 р.	середня багаторічна
Квітень	8,3	11,0	41	35
Травень	15,8	15,4	51	45
Червень	20,6	19,2	68	53
Липень	24,8	21,2	7	59
Серпень	23,8	20,1	20	54
Квітень–серпень	18,7	17,4	187	246

2. Доступні форми азоту та сірки в шарі ґрунту 0–20 см

Варіант досліджу	Фактична вологість, %	N мінеральний, мг/кг ґрунту			S, мг/кг ґрунту	Співвідношення доступних форм N:S у ґрунті
		N–NO ₃	N–NH ₄	сума		
<i>На початку вегетації (фаза завершення кущіння)</i>						
N ₁₀₀ P ₆₀ K ₆₀ S ₀	14,5	14,2	15,4	29,6	9,1	3,3:1
N ₁₀₀ P ₆₀ K ₆₀ S ₂₀	15,2	16,5	18,9	35,4	15,0	2,5:1
N ₁₀₀ P ₆₀ K ₆₀ S ₄₀	14,8	18,0	19,3	37,3	43,6	0,8:1
N ₁₀₀ P ₆₀ K ₆₀ S ₆₀	14,8	16,3	14,6	30,9	49,7	0,6:1
HIP ₀₅	1,4	1,6	0,7	2,6	9,3	–
<i>Під час обліку врожаю (фаза цвітіння)</i>						
N ₁₀₀ P ₆₀ K ₆₀ S ₀	11,2	3,9	3,2	7,1	8,2	0,9:1
N ₁₀₀ P ₆₀ K ₆₀ S ₂₀	11,2	4,3	5,5	9,7	10,9	0,9:1
N ₁₀₀ P ₆₀ K ₆₀ S ₄₀	11,4	4,9	5,1	10,0	17,5	0,6:1
N ₁₀₀ P ₆₀ K ₆₀ S ₆₀	11,1	2,9	3,5	6,4	29,4	0,2:1
HIP ₀₅	1,2	0,8	0,6	0,6	4,0	–

На час збирання врожаю рівень забезпечення ґрунту мінеральним азотом знизився вчетверо, проте зазначені вище відмінності у варіантах збереглися. Слід наголосити, що за внесення сульфату амонію співвідношення нітратної та амонійної форм мінерального азоту змінювалося на користь останньої, а за дози S₆₀ уміст нітратів у ґрунті істотно зменшується. Вважаємо це закономірним, оскільки сульфат амонію більше, ніж аміачна селітра підкислює ґрунт, що уповільнює процеси нітрифікації й обмежує доцільність надмірного збільшення частки першого добрива за рахунок зменшення другого. Крім того, з додаванням сірки дозою 60 кг/га до складу мінеральних добрив переважає внесення азоту саме в амонійній формі, а за низького вологозабезпечення ґрунту процеси нітрифікації істотно уповільнюються.

Уміст рухомої сірки в ґрунті навесні підвищувався пропорційно збільшенню дози її внесення: без застосування сульфату амонію був на межі середніх і підвищених значень згідно з наявними градаціями забезпеченості [22], додавання 20 кг/га сірки підвищувало її концентрацію до високого рівня, а внесення 40–60 кг/га — до дуже високого. Наприкінці вегетації вміст сірки в орному шарі без унесення добрив зазнав невеликих змін, за внесення 20 кг S/га — зменшився на 27%, але був

на підвищеному рівні, а за вищих доз — зменшився на 40–60%, хоча й залишився в інтервалі дуже високих значень.

Уміст рухомої сірки в ґрунтах є динамічним показником, інтенсивність змін якого залежить від гранулометричного складу ґрунту, його забезпеченості органічною речовиною, кліматичних умов, вирощування культур тощо [23]. Отримані результати показують, що за відсутності сіркового компонента в складі добрив чорнозем типовий важкосуглинковий здатний підтримувати вміст рухомої сірки на невисокому, але досить стабільному рівні, а його підвищення за рахунок сульфатної складової мінеральних добрив є тимчасовим ефектом. Рухомість сульфатів у ґрунті подібна до нітратів, оскільки вони обидва є аніонами й майже не здатні до фізико-хімічної адсорбції негативно зарядженими колоїдами ґрунтів чорноземного типу ґрунтоутворення. За властивого чорноземам типовим висхідного градієнта вологи у вегетаційний період вимивання нітратів і сульфатів з орного шару майже неможливе. У цей період також немає підстав для відновлення сульфатів або їх хімічного зв'язування в ґрунті. Отже, виявлене нами зменшення вмісту рухомої сірки в ґрунті переважно спричинене споживанням рослинами.

Споживання азоту рослинами сорго превалює над споживанням сірки. Автори [24]

ззначають, що співвідношення N:S у тканинах злаків становить 10:1, пасовищних трав — 8–12:1, кукурудзи — 15,6:1. Через інтенсивніше споживання запаси мінерального азоту ґрунту вичерпуються швидше, ніж сірки, і на час збирання врожаю були майже однаковими в разі невнесення сірковмісних добрив або внесення лише S_{20} . За внесення найбільшої дози S_{60} кількість мінерального азоту в ґрунті вп'ятеро була нижчою за кількість рухомої сірки, що свідчить про явний надлишок останньої. Автори [25] визначили оптимальне співвідношення доступних N:S у ґрунті як 7–4:1.

За нестійкого вологозабезпечення впродовж вегетації набуває великого значення здатність рослин підтримувати обводненість тканин. При співвідношенні N:S у складі добрив 5:1 у варіанті з унесенням $N_{100}P_{60}K_{60}S_{20}$ зафіксовано істотне збільшення загального вмісту вологи в рослинах і спостерігається тенденція до підвищення вільної та зв'язаної води (табл. 3). У цьому самому варіанті з унесенням $N_{100}P_{60}K_{60}S_{20}$ отримано максимальний урожай зеленої маси — 52,2 т/га. Це дає підстави вважати таке співвідношення N:S у складі добрив

оптимальним, що формує сприятливе співвідношення їх доступних форм у ґрунті та оптимізує мінеральне живлення сорго суданського. У цьому результаті нашого дослідження збігаються із висновками авторів [25] про необхідність збалансування доступності азоту і сірки у ґрунті для досягнення максимального синергетичного ефекту.

Додавання сірки до складу NPK позитивно позначилося на ефективності використання азоту рослинами. Найвища концентрація N в скошеній зеленій масі спостерігалася за внесення $N_{100}P_{60}K_{60}S_{20-40}$, що в сукупності зі збільшенням урожайності підвищило винос азоту врожаєм у 1,5 раза (табл. 4). При цьому збільшувалося також і споживання рослинами фосфору, тобто додавання сірки оптимізує азотно-фосфорно-сіркове живлення загалом. Як результат, за додавання S_{20-40} окупність 1 кг NPK добрив урожаєм збільшилася на 23–38 кг зернових одиниць.

Поширеним у світі критерієм оптимізації системи удобрення є підвищення ефективності споживання рослинами елементів живлення, що забезпечує економічну доцільність та екологічну безпечність застосування

3. Уміст вологи в тканинах та врожайність зеленої маси сорго суданського

Варіант досліджу	Уміст вологи в тканинах рослин, %			Урожайність, т/га
	вільна	зв'язана	загальна	
$N_{100}P_{60}K_{60}S_0$	14,7	51,9	66,6	39,4
$N_{100}P_{60}K_{60}S_{20}$	15,6	56,0	71,5	52,2
$N_{100}P_{60}K_{60}S_{40}$	16,5	52,9	69,4	51,4
$N_{100}P_{60}K_{60}S_{60}$	14,2	52,1	66,3	45,7
HIP_{05}	2,1	4,3	4,1	6,7

4. Уміст елементів живлення в рослинах сорго суданського у фазі цвітіння та їхній винос з урожаєм

Варіант досліджу	Уміст елементів живлення, %			Винос елементів живлення, кг/га		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
$N_{100}P_{60}K_{60}S_0$	1,47	0,50	1,36	58,0	19,5	53,4
$N_{100}P_{60}K_{60}S_{20}$	1,70	0,55	1,50	88,7	28,9	78,0
$N_{100}P_{60}K_{60}S_{40}$	1,64	0,56	1,25	84,2	28,6	64,0
$N_{100}P_{60}K_{60}S_{60}$	1,48	0,53	1,28	67,5	24,1	58,3
HIP_{05}	0,27	0,04	0,20	–	–	–

мінеральних добрив. Насамперед це ефективність споживання азоту (NUE, nitrogen use efficiency), надлишковий уміст якого в ґрунтах і природних водах регламентується європейським природоохоронним законодавством. Автори [26] констатують, що на цей час вже запропоновано понад 2 десятки відносних показників, що характеризують NUE. Оскільки схемою досліду не було передбачено чистого контролю, що унеможлиблює розрахунок традиційного коефіцієнта використання елементів живлення з добрив або ґрунту, то найприйнятнішим є визначення поширених у світовій практиці індексів. Зокрема, індекс ефективності поглинання азоту NUpE характеризує співвідношення спожитого рослинами азоту до кількості доступного азоту в ґрунті, а індекс ефективності використання азоту NUtE дає уявлення, наскільки ефективно рослина використовує накопичений у тканинах азот на формування врожаю.

Згідно з даними табл. 5 додавання S_{20} до мінерального фону забезпечує максимальну ефективність поглинання азоту (NUpE) рослинами, подальше збільшення норми погіршує цей показник. Максимальна ефективність використання азоту (NUtE) була за внесення S_{40} . Отже, розраховані ін-

5. Індекси ефективності використання азоту для формування врожаю сорго суданського

Варіант досліду	NUtE	NUpE, %
$N_{100}P_{60}K_{60}S_0$	26,7	28,1
$N_{100}P_{60}K_{60}S_{20}$	30,7	39,0
$N_{100}P_{60}K_{60}S_{40}$	31,4	35,9
$N_{100}P_{60}K_{60}S_{60}$	30,9	31,9
HIP ₀₅	0,70	1,52

декси також підтверджують, що додавання сірки до традиційного мінерального фону істотно підвищує ефективність використання азоту, а за оптимальну норму внесення на фоні $N_{100}P_{60}K_{60}$ можна прийняти 20 кг/га.

Проведене дослідження показує доцільність доповнення основних елементів живлення NPK сірковим компонентом не лише для відомих сірковибагливих культур сімейства *Brassicaceae*, а й для сорго суданського в умовах властивого сьогоденню нерівномірного і недостатнього зволоження. Одержані результати збігаються з аналогічними висновками, зробленими для інших культур: кукурудзи [27], пшениці ярої [28], травосумішки райграс — конюшина [29] тощо.

Висновки

Наявність сірки у вигляді сульфату амонію в складі передпосівного внесення мінеральних добрив під посів сорго суданського на чорноземі типовому важкосуглинковому позитивно впливає на ефективність використання азоту рослинами, обводнення їх тканин і врожайність зеленої маси за нестійкого зволоження вегетаційного періоду. За внесення $N_{100}P_{60}K_{60}$ оптимальною нормою

додавання сірки є S_{20} , що забезпечило співвідношення азоту до сірки в складі добрив 5:1, у ґрунті — 2,5:1 (N:S). Зі збільшенням норми внесення сірки до S_{60} її позитивний вплив на врожайність сорго суданського та окупність мінеральних добрив зменшується, погіршуються й такі показники, як уміст вільної та зв'язаної води в тканинах рослин і ефективність поглинання азоту.

Hladkikh Ye.¹, Miroshnychenko M.², Siabruk O.³
National Scientific Center «O.N. Sokolovskiy
Institute for Soil Science and Agrochemistry
Research», 4 Chaikovska Str., Kharkiv, 61024,
Ukraine; e-mail: ¹ye.hladkikh@ukr.net, ²ecosoil@
meta.ua, ³syabryk86@gmail.com; ORCID: ¹0000-
0002-4852-0502, ²0000-0003-2830-5933, ³0000-
0001-9521-4607

Optimization of nitrogen and sulfur nutrition of Sudan grass (*Sorghum × drummondii*) in conditions of unstable moisture

Goal. To establish the optimal ratio of sulfur and nitrogen in the composition of mineral fertilizers for fertilizing Sudan grass in conditions of unstable moisture during the growing season. **Methods.**

The field experiment was carried out on typical heavy loam chernozem of the State Enterprise "SI "Hrakovske" of the NSC "ISS named after O.N. Sokolovskiy" (Kharkivskiy district, Kharkiv oblast), where the change in the NPK:S ratio in the composition of mineral fertilizers in crops of Sudan grass was studied; laboratory-analytical studies were performed under current state standards; statistical and mathematical analysis of the obtained data was carried out with the help of the STATISTICA 13 program. The indicators of the efficiency of use (NUE) and absorption (NUE) of nitrogen by plants were calculated. **Results.** With the pre-sowing application of sulfur with fertilizers at the rate of S_{20} – S_{40} during tillering, the content of its mobile forms in the soil layer of 0–20 cm increased from 9 to 15–44 mg/kg, which narrowed the ratio of available N:S forms from 3.3:1 to 2.5–0.8:1. This had a positive effect on the accumulation of moisture in plant tissues and the yield of green mass of Sudan grass. When applying $N_{100}P_{60}K_{60}S_{20}$, the maximum obtained yield of green mass was 52.2 t/ha compared to 39.4 t/ha

without the sulfur component. The highest content of nutrients (N — 1.7%, P — 0.55%, K — 1.5%) in mowed green mass was observed when $N_{100}P_{60}K_{60}S_{20-40}$ was applied, which together with the increase in productivity increased the removal of nutrients by the crop by 1,1–1.5 times. Nitrogen efficiency indicators confirmed the expediency of adding sulfur to the composition of fertilizers, and its optimal dose on the background of $N_{100}P_{60}K_{60}$ was 20 kg/ha. **Conclusions.** The addition of sulfur in the sulfate form to the composition of mineral fertilizers for pre-sowing application of Sudan grass on typical heavy loam chernozem optimized the nitrogen-phosphorus-sulfur nutrition of plants, contributed to the increase of irrigation of tissues, increased the efficiency of nitrogen use by plants and the profitability of fertilizers by yield. On the background of $N_{100}P_{60}K_{60}$, the optimal rate of sulfur addition was S_{20} ; increasing it to S_{60} weakens the positive effect.

Key words: ammonium sulfate, fertilizer, mobile sulfur, yield, efficiency of fertilizers.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovvisnyk202211-02>

Бібліографія

1. Про затвердження Правил щодо забезпечення родючості ґрунтів і застосування окремих агрохімікатів. Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України від 24.11.2021 р. № 382.
2. Piri I., Rahimi A., Tavassoli A. et al. Effect of sulphur fertilizer on sulphur uptake and forage yield of Brassica juncea in condition of different regimes of irrigation. *Afr. J. Agric. Res.* 2012. № 7. P. 958–963.
3. Anjum N., Gill S., Umar S et al. Improving growth and productivity of oleiferous brassicas under changing environment: Significance of nitrogen and sulfur nutrition, and underlying mechanisms. *Sci. World J.* 2011. № 12. P. 1–12.
4. Prosser I.M., Purves J.V., Saker L.R., Clarkson D.T. Rapid disruption of nitrogen metabolism and nitrate transport in spinach plants deprived of sulphate. *J. Exp. Bot.* 2001. 52. P. 113–121.
5. Ahmad A., Abdin M.Z. Interactive effect of sulphur and nitrogen on the oil and protein contents and on the fatty acids profiles of oil in the seeds of rapeseed (*Brassica campestris* L.) and mustard (*Brassica juncea* L. Czern. and Coss). *J. Agron. Crop Sci.* 2000. P. 185. P. 49–54.
6. Teuber O., Samarappuli D., Berti M. Nitrogen and Sulfur Fertilization in Kale and Swede for Grazing. *Agronomy.* 2020. № 10(5). P. 619. doi: 10.3390/agronomy10050619
7. Piri I., Rahimi A., Tavassoli A. et al. Effect of sulphur fertilizer on sulphur uptake and forage yield of Brassica juncea in condition of different regimes of irrigation. *Afr. J. Agric. Res.* 2012. № 7. P. 958–963.
8. Manaf A., Ul-Hassan F. Effects of sulphur on fatty acid accumulation in brassica cultivars. *Int. J. Agric. Biol.* 2006. № 8. P. 588–592.
9. Chen G., Clark A., Kremen A. et al. Brassicas and mustards. In *Managing Cover Crops Profitably*. 3rd ed. Sustainable Agriculture Research and Education: College Park, MD, USA, 2007. P. 81–90.
10. Scherer H.W. Sulphur in crop production — invited paper. *Eur J. Agron.* 2001. № 14. P. 81–111.
11. *Періодична доповідь про стан ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення України (за результатами X туру (2011–2015 рр.) агрохімічного обстеження земель)*. Київ, 2020. С. 58–63.
12. Eppendorfer W.H. Effects of sulfur, nitrogen and phosphorus on amino acid composition of field beans (*Vicia faba*) and responses of the biological value of the seed protein and sulfur-amino acid content. *J. Sci Food Agric.* 1971. № 22. P. 501–505.
13. Fazli I.S., Jamal A., Ahmad S. et al. Interecutive effect of sulphur and nitrogen on nitrogen accumulation and harvest in oilseed crops differing in nitrogen assimilation potential. *J. Plant Nutri.* 2008. № 31. P. 1203–1220.
14. Aulakh M.S., Pasricha N.S., Sahota N.S. Nitrogen-sulfur relationship in brown sarson and Indian mustard. *Ind J. Agric Sci.* 1977. № 47. P. 249–253.
15. McGrath S.P., Zhao F.J. Sulphur uptake, yield response and the interactions between N and S in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *J. Agric Sci.* 1996. № 126. P. 53–62.

16. Lim S-S., Lee S-M., Lee S-H., Choi W-J. Dry Matter Yield and Nutrient Uptake of Sorghum × Sudangrass Hybrid Grown with Different Rates of Livestock Manure Compost. *Korean J. of Soil Science and Fertilizer*. 2010. V. 43 (4). P. 458–465.
17. Kaplan M., Kara K., Unlukara A. et al. Water deficit and nitrogen affects yield and feed value of sorghum sudangrass silage. *Agricultural Water Management*. 2018. № 1. P. 30–36 doi: 10.1016/j.agwat.2019.03.021
18. Sunaga Y., Harada H., Kawachi T., Hatanaka T. Management of nitrogen fertilizer application rates based on soil nitrogen fertility with the goal of lowering nitrate nitrogen concentrations in Sudangrass (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf). *Soil Science and Plant Nutrition*. 2008. № 54. P. 543–554. doi: 10.1111/j.1747-0765.2008.00271.x
19. Якість ґрунту. Визначення нітратного і амонійного азоту в модифікації ННЦ ІГА ім. О.Н. Соколовського: ДСТУ 4729:2007. [Чинний від 2008-01-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 14 с. (Національний стандарт України).
20. Якість ґрунту. Визначення рухомої сірки в модифікації ННЦ ІГА імені О.Н. Соколовського: ДСТУ 8347:2015. [Чинний від 2017-07-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2017. 19 с. (Національний стандарт України).
21. Moll R.H., Kamprath E.J., Jackson W.A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agronomy J*. 1982. № 74. P. 562–564.
22. Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення: керівний нормативний документ; за ред. І.П. Яцука, С.А. Балюка. 2-ге вид. (допов.). Київ, 2019. 108 с.
23. Arshad J., Yong-Sun M., Malik Z. Abdin Sulphur — a general overview and interaction with nitrogen. *AJCS*. 2010. № 4(7). P. 523–529.
24. Zenda T., Liu S., Dong A., Duan H. Revisiting Sulphur—The Once Neglected Nutrient: It's Roles in Plant Growth, Metabolism, Stress Tolerance and Crop Production. *Agriculture*. 2021. № 11. P. 626. doi: 10.3390/agriculture11070626
25. Janzen H.H., Bettany J.R. Sulfur nutrition of rapeseed. Influence of fertilizer nitrogen and sulfur rates. *Soil Sci Soc Am J*. 1984. № 48. P. 100–107.
26. Congreves K.A., Otchere O., Ferland D. et al. Nitrogen Use Efficiency Definitions of Today and Tomorrow. *Frontiers in Plant Science*. 2021. V. 12. Art. 637108. doi: 10.3389/fpls.2021.637108
27. Sanchez M.G.B., Yzquierdo G.A.R., Escobar M.G.A. Effect of nitrogen-sulfur fertilization on yield and quality of three corn genotypes differing in endosperm texture. *Ciencia y Tecnologia Agropecuaria*. 2019. № 20(3). P. 565–577. doi: 10.21930/rcta.vol20_num3_art:1591
28. Klikocka H., Cybulska M., Barczak B. et al. The effect of sulphur and nitrogen fertilization on grain yield and technological quality of spring wheat. *Plant, Soil and Environment*. 2016. V. 62. P. 230–236. doi: 10.17221/18/2016-PSE
29. Grygierzec B., Luty L., Musiał K. The efficiency of nitrogen and sulphur fertilization on yield and value of N:S ratio for *Lolium × boucheanum*. *Plant, Soil and Environment*. 2015. V. 61. P. 137–143. doi: 10.17221/18/2016-PSE