

АГРОХІМІЧНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ СІРКОВІСНИХ ДОБРИВ НА РІЗНИХ ТИПАХ ҐРУНТІВ (АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД)

**О.М. ГЕНГАЛО, кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Н.О. ГЕНГАЛО, Т.І. БІЛОЦЕРКІВЕЦЬ, молодші наукові співробітники**

Наведено аналітичний огляд щодо вмісту сполук сірки у рослинах і ґрунті, динаміки їхніх змін та використання сірковмісних добрив. Показано, що їх застосування оптимізує ріст та розвиток рослин, біохімічні процеси, які відбуваються в них, підвищує продуктивність сільськогосподарських культур.

Сполуки сірки в ґрунті та рослинах, сульфати, сірковмісні добрива, продуктивність рослин.

Сірка відіграє важливу роль в живленні рослин. Наявність її в складі рослин було встановлено Лібіхом у 1859 році. Її значення як елемента живлення стало очевидним після розроблення Саксом і Кнопом у 1860 році методу вирощування рослин на сольових розчинах. Сірка входить до дев'яти мікроелементів, необхідних для живлення рослин [1]. Вона поглинається рослинами з ґрунту у вигляді оксиду – сульфат-аніону, джерелом якого є різні солі сірчаної кислоти [2].

У малому біологічному кругообігу речовин у біосфері згаданий елемент перетворюється двома основними шляхами – окисленням і відновленням. У рослинах переважає асиміляційна сульфатна редукція – основний шлях метаболізму сірки в рослинній клітині, тому сульфат як головне джерело живлення сірки займає провідне у них положення [2].

У рослинах вміст сірки коливається від 0,02 до 1,8%. Вона – обов'язкова складова двох амінокислот – метіоніну та цистину, разом з якими бере участь в утворенні білків. Вміст цих амінокислот у зеїні кукурудзи і в гліадіні пшениці становить відповідно 2,4; 0,9 і 2,3; 2,3% на суху речовину. Сірка також входить до складу гірчичного і часникового масел, що містяться у насінні капустяних і в часнику. Коферментами слугують сірковмісні вітаміни В₁, В₂, В₆, нікотинова кислота та ін.. Так, вітамін В₁ (тіамін) є коферментом галоферменту β-карбоксилази. Він відіграє важливу роль у забезпеченні високоенергетичних фосфатних зв'язків і стимулює біосинтез білкових форм фосфору. Вітамін В₆ бере участь у перетворенні аспарагіну й глютаміну в рослині. Рослинна β-амілаза входить до складу зерна хлібних злаків та сої. Її активність пов'язана з наявністю сульфгідрильних груп – SH [2].

Мікрофлора ризосфери є причиною того, що в родючому ґрунті завжди містяться вітаміни В₁, В₂, В₆, В₁₂, пантотеєнова, фолієва, нікотинова кислоти й інші сполуки, які позитивно біохімічно впливають на рослини. Середній вміст тіаміну в ґрунтах становить 2–3мкг на 100 г ґрунту. При внесенні 1 кг гною у ґрунт надходить 150 мг тіаміну та інших вітамінів [4]. На думку Ф. Ліпмана [5], сполуки, що містять сірку, могли бути відповідальними за виникнення первинного окислювально-відновного потенціалу, необхідного для здійснення біосинтезів. Вважають, що тіоефіри були еволюційними предками

“макроергічного” АТФ [3].

Отже, сірка в клітині виконує такі біологічні функції: енергетичну, структуральну (в складі білків, вуглеводів, ліпідів тощо), каталітичну (в активному центрі ферментів, складова частина кофакторів), окислювально-відновну (баланс у клітині), ініціативну (при клітинному розподілі), ростову (в поліпептидному ланцюгу при синтезі білків). Вона також бере участь у реакціях метилювання ДНК, РНК та інших важливих сполук [6].

Сірка активно використовується культурними рослинами в біологічному кругообігу і відчувається з урожаєм. У старих листках вона дуже лабільна і є джерелом певної кількості рухомої сірки для меристем молодих листків і коріння, які більше потребують її й активно поділяються [3].

При сірчаному голодуванні листки не відмирають, хоча їхнє забарвлення стає блідим. Потреба в сірці різних рослин неоднакова. Вона виноситься більшою мірою з урожаєм рослин із родини капустяних (гірчиця, капуста, турнепс, ріпак, редька) [7, 8]. Рослини родини лободових і бобових (боби, горох, соя) також відчужують з урожаєм достатню її кількість. Менше сірка виноситься з урожаєм кукурудзи, картоплі, бавовнику [9]. Вміст сірки (в перерахунку на SO_3) у рослинах виражається такими величинами, відсотків на повітряно-суху речовину: в зерні озимої пшениці – 0,02, гороху – 0,08, бульбах картоплі – 0,06, соломі пшениці – 0,11, гороху – 0,27, картоплинні – 0,13 [10].

Про умови живлення рослин сіркою судять за аналізами ґрунту та опадами [11]. При достатньому сірчаному живленні підвищується стійкість рослин проти низьких температур, посухи, хвороб, засолення ґрунту [12]. Деякі науковці для проведення діагностики пропонують враховувати кількість загальної й сульфатної сірки у рослинах. Дослідження, проведені в США, показали, що критична концентрація сульфатної сірки у ґрунтах для зернових культур становить 0,8 мг на 100 г ґрунту, кукурудзи – 0,7–0,8, люцерни та конюшини – 1,2 мг на 100 г ґрунту [13]. За вмісту сірки в люцерні 0,19% і вище рослини не реагують на її внесення, однак при вмісті останньої 0,15–0,17% спостерігаються ознаки її нестачі [11]. Одночасно з сіркою у рослинах визначають рівень азоту й обчислюють його відношення до сірки. Цей показник для окремих культур відносно стабільний, оскільки обидва елементи входять до складу білків у строго визначеній кількості, яка характерна для кожного виду рослин [13].

Таким чином, при вивченні живлення рослин сіркою виникає питання про необхідність знань у кожному конкретному випадку стану її метаболізму. Це може бути корисним при виборі відповідних норм і доз сірковмісних добрив, а також видів і сортів рослин, що реагують на внесення сірки. Відмінна особливість вищих рослин полягає в здатності використовувати сірку сульфатів із біосинтетичною метою. Тому у рослин сульфати як головне джерело живлення сіркою займають провідне місце і великою мірою залежать від нагромадження їх у ґрунтах. Регулюючи живлення сіркою культурних рослин, можна впливати на кількісні, але більше й на якісні параметри сільськогосподарської продукції.

Мета дослідження – провести аналітичний огляд вітчизняного та світового досвіду використання сірчаних добрив у живленні рослин.

Матеріали і методи дослідження. Для досягнення поставленої мети було проаналізовано публікації вітчизняних та зарубіжних учених щодо значення сірки в живленні рослин і використання сірковмісних добрив з метою підвищення їхньої продуктивності, а також узагальнено матеріал із

застосуванням загальнонаукових методик.

Результати дослідження та їхній аналіз. Відома пряма та опосередкована дія як сірчаних, так і інших добрив на ріст та розвиток рослин. Опосередкована дія пов'язана зі зміною доступності поживних елементів у ґрунті, а пряма проявляється в безпосередній участі сірки у метаболізмі рослин. Нині найактивніше ведуться дослідження в цьому напрямі вченими КНР, Індії, Ірану, Канади, Німеччини. Незважаючи на деякі дослідження з вивчення впливу сірки на властивості ґрунтів і доступність елементів живлення, вказане питання до теперішнього часу залишається недостатньо вивченим [14].

Дослідженнями вітчизняних та зарубіжних учених встановлено сприятливий вплив сірки на синтез у рослинах хлорофілу й активність ферментів. У пшениці та ячменю зафіксовано збільшення продуктивної кущистості, прискорення досягання, поліпшення структури врожаю. Під дією сірчаних добрив урожай зерна озимої та ярої пшениці, озимого жита, вівса, ячменю зростав на 1,0-2,5 ц/га, а в деяких випадках – і більше. При цьому спостерігалось підвищення в зерні вмісту білка на 0,5–1,6% [15]. Дослідженнями М.П. Шкель [16] доведено, що за використання сірковмісних добрив зростала скловидність зерна пшениці й збільшувалася кількість усіх амінокислот у зерні ячменю.

Естонськими вченими встановлено, що при внесенні в посіви озимої пшениці рідких добрив із вмістом сульфатної сірки (Na), а також добрив $A_{\text{хан-1}}$ (2,7% S), $A_{\text{хан-2}}$ (7% S) з нормами сірки від 4 до 26 кг/га підвищувався вміст хлорофілу в листках озимої пшениці, збільшувалася кількість продуктивних стебел, зерен у колосі й зростав урожай зерна на 29–64% [17].

На дерново-карбонатних ґрунтах із низьким рівнем доступної сірки в посівах озимої пшениці J. Ivanic [18] застосовув N_{60} при сівбі й N_{60} у підживлення. З добривами вносили по 6–12 кг/га сірки в формі Na , а також вивчали ефективність останньої, що надходила з фунгіцидом “Thiovit Jet”. При внесенні сірки у формі Na приріст урожаю становив 27–49%, від фунгіциду – 11–55% (залежно від норм і строків застосування). Позакореневі підживлення сіркою посилювали продуктивне кушіння й збільшували кількість зерен у колосі, що сприятливо позначалося на формуванні врожаю.

Що стосується просапних культур, то тут також спостерігалось зростання врожаю зеленої маси, зерна кукурудзи, коренеплодів буряків, бульб картоплі на 10–20%, а в ряді випадків – і на 30%. Сірчані добрива позитивно впливали й на якість урожаю цих культур. Так, у зерні та зеленій масі кукурудзи підвищувався вміст протеїну, жиру, триптофану, валіну і треоніну [19]. Під дією сірки інтенсифікувався синтез вуглеводів: у коренеплодах буряків збільшувалася кількість цукру, а в бульбах картоплі – крохмалю [20]. Дослідженнями також встановлено, що сірковмісні добрива сприяли інтенсивнішому надходженню азоту, фосфору, калію, кальцію, магнію, сірки і ряду мікроелементів у рослини кукурудзи, цукрових буряків, картоплі, ріпаку [21].

Сірчані добрива позитивно впливали на ріст і розвиток зернобобових культур [20] і бобових трав [22]. Частіше це проявлялося на вмісті білкових речовин у рослинах бобових, ніж на їхній загальній продуктивності. Так, у польових дослідах Харківського сільськогосподарського інституту внесення міченої сірки під ячмінь, попередник люцерни, підвищило вміст протеїну на 0,7–1,5%, а його збір – на 1,0–1,5 ц/га [23].

Сірковмісні добрива активізували життєдіяльність бульбочкових бактерій. Під дією сірки в урожаї бобових культур було більше не тільки азоту, але й фосфору, кальцію, а також ряду мікроелементів – бору, цинку і міді [22]. У складі білків зерна гороху та квасолі відзначалося зростання добре засвоюваних водорозчинних і солерозчинних фракцій [24]. Сірка сприяла нагромадженню в бобових рослинах цінних амінокислот, підвищувала схожість насіння й активність ферментів пероксидази та поліфенолоксидази [22].

Інтенсивні дослідження щодо ефективності форм, видів, строків і способів внесення сірчаних добрив під ріпак проводять у нинішній час канадські вчені. На сірих, темно-сірих лісових ґрунтах та чорноземах вивчають гранульовані сірковмісні добрива (ES -99, ES -95, ES -90 і Biosul -90), суспензії Biosul-50 і Na, а також Agrium Plus (21,7 % елементарної S + 18,7% SO_4^{2-}) і Tiger 90^(R) (бентоніт з елементарною сіркою) за внесення поверхнево врозкид або у вигляді позакореневих підживлень. Суспензія Biosul-50 і порошкоподібна елементарна сірка виявилися близькими за ефективністю до сульфатних форм сірчаних добрив, а рідкі добрива з вмістом сульфатної сірки (Na) були ефективнішими, ніж Tiger 90^(R). Гранульовані форми та елементарна сірка помітно підвищували ефективність на другий рік, але поступалися суспензійним і порошкоподібним сульфатним формам [8]. На чорноземних ґрунтах зростав вміст олії й сірки в насінні ріпаку, а також зменшувалася кількість хлорофілу. Внесення Na під попередник (пшениця) забезпечувало післядію сірки на ріпаку, підвищуючи вміст олії та сірки в насінні й одночасно знижуючи в них рівень хлорофілу та азоту, причому ефективність сірковмісних добрив не залежала від способу основного обробітку ґрунту [9].

Німецькі, англійські й швейцарські дослідники встановили значне зростання у рослинах ріпаку вмісту сульфату, цистеїну, глутатіону, глікозінолатів. Ними з'ясовано механізми S-індуцированої стійкості ріпаку проти гриба *Pirenopeziza brassicae* [21]. Доведено, що ріпак як попередник може збільшувати доступність сірки подальшим у сівозміні культурам. При середній забезпеченості ґрунту сіркою застосування сірчаних добрив у половині випадків зумовлювало підвищення олійності насіння ріпаку [25].

Учені Західної Європи, Китаю та Північної Америки приділяють проблемам, пов'язаним із вирубанням лісів, а також підкисленню ґрунтів атмосферними опадами. Вирубування листяного лісу призвело протягом восьми місяців до підкислення лісового ґрунту (pH від 4,5 до 4,0) та зниження вмісту рухомих сульфатів. Причиною було адсорбційне закріплення сірки з підвищенням кислотності. Щорічні потоки загальної й сульфатної сірки з лісової підстилки за три роки зменшилися сумарно на 6,9 кг/га [26].

У південно-західній частині Швеції з 1988 по 1998 рік спостерігали за внесенням сульфату амонію під насадження ялини (100 кг/га N і 114 кг/га S щорічно). Дія добрива супроводжувала посилений винос із ґрунту NH_4^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} , Mg^{2+} , Ca^{2+} й не впливала на винос K. При цьому величина pH у мінеральних горизонтах за вказаний період знизилася на 0,4 од. [27].

При вивченні регулювання нагромадження сульфату в листяних лісах встановлено, що дефіцит сірки не позначався на рості тополі, але вміст глутатіону в рослинах знижувався. Дефіцит сірки призводив до підвищення рівня АТФ сульфатази і сульфїтредуктази в мРНК, що є адаптивним механізмом нагромадження сульфатів у ході метаболізму [1].

Китайські вчені дослідили, що при надходженні сірки з атмосферними опадами на червоноземі в районі широколистяних лісів Південного Китаю 69%

її загальної кількості припадало на сульфати [28].

Про строки і способи внесення сірчаних добрив існує багато інформації в зарубіжній літературі, особливо тих країн, де давно налагоджено виробництво сірчаних добрив. У країнах СНД сірчані добрива вносять восени під зяблеву оранку або раною весною під передпосівну культивуацію [29]. Добрива, що містять сірку, сприятливо діють при внесенні їх невеликими нормами під час сівби [23]. За гострого дефіциту сірки рекомендується проводити позакореневі підживлення рослин 0,5–2,0%-м розчином сульфатів [13]. Оптимальна норма різних форм сірчаних добрив в Україні та Білорусі – приблизно 60 кг/га [23]. У Латвії вносять 60–120 кг/га сірки залежно від ґрунту і культури [11].

Висновки. Аналітичний огляд літератури свідчить про те, що сірка має велике значення в малому біологічному й великому геологічному кругообігу речовин Землі. Вміст і закономірності розподілу цього елемента вивчені далеко не на всіх ґрунтах. Найбільш розвинені в аграрному відношенні країни (Велика Британія, США, Франція, Японія) налагодили випуск складних та комплексних добрив, збалансованих не тільки за азотом, фосфором, калієм, але й за сіркою, кальцієм, магнієм та іншими життєво важливими для живлення рослин елементами. У колишньому СРСР пік вивчення проблеми сірки в аграрному секторі припав на 70–80-ті роки минулого століття. Перші успішні результати стосовно дослідження вмісту сірки у ґрунтах і рослинах були одержані вченими прибалтійських держав, Білорусі, України, Російської Федерації. Незважаючи на те що проблема сірки стала нагальною в різних регіонах цих країн, промисловість так і не налагодила випуску сучасних добрив, збалансованих за великою кількістю елементів живлення, включаючи й сірку. Тому в кожній конкретній зоні необхідно детально вивчити забезпеченість ґрунтів сіркою, виявити потреби у сірчаному живленні рослин, обґрунтувати екологічну та економічну доцільність застосування сірчаних добрив.

Список літератури

1. Hayfa Sawsan. Einfluss der Schwefelversorgung zu *Tropaeolum majus* L. auf den Gehalt an Schwemrtallen im Pflanzenmaterial / Sawsan Hayfa, Elke Bloem, Silvia Haneklaus // Bundesforschungsanst. Landwirt (FAL). – Braunschweig. 2003. – S. 15.
2. Петербургский А.В. Агрохимия и физиология питания растений / А.В. Петербургский. – М.: Колос, 1971. – 336с.
3. Шевякова Н.И. Метаболизм серы в растениях / Н.И. Шевякова. – М.: Наука, 1979. – 166с.
4. Пейве Я.В. Биохимия почв / Я.В. Пейве. – М.: Сельхозиз, 1961. – 422 с.
5. Липман Ф. Современный этап эволюции биосинтеза и предшествующее ему развитие / Ф. Липман // Происхождение предбиол. систем. – М., 1975. – С. 261–283.
6. Гаврилова Л.Н. Изучение механизма транслокации в рибосомах / Л.Н. Гаврилова, А.С. Спирин // Молекуляр. биол. – 1972. – № 2. – С. 311–319.
7. Malhi S.S. Influence of fur successive annual applications of elemental S and sulphate-S fertilizers on yield S uptake and seed quality of canola / S.S. Malhi // Can. J. Plant Sci. – 2005. – V. 85. – № 4. – P.777–792.
8. Malhi S.S. Influence of formulation of elemental S fertilizer on yield, quality and S uptake of canola seed / S.S. Malhi, E.D. Solberg, M. Nyborg // Can. J. Plant Sci. – 2005. – V. 85. – № 4. – P 793-802.
9. Grant C.A. Sulphur fertilizer and tillage effects on canola seed quality in the Black soil zone of western Canada / C.A. Grant, G.W. Clayton, A.M. Johnston // Can. J. Plant Sci. – 2003. – V. 83. № 4. – C.745–758.

10. Moinuddin Umar Shahid. Influence of combined application of potassium and sulfur on yield, quality, and storage behavior of potato / Umar Shahid Moinuddin // *Commun. Soil Sci. and Plant Anal.* – 2004. – V. 35. – № 7–8. – P. 1047–1060.
11. Слуцкая Л.Д. Сера как удобрение / Л.Д. Слуцкая // *Агрохимия.* – 1972. – № 1. – С. 130–143.
12. Баранов П.А. Сера в растениях и почвах / П.А. Баранов // *Сельск. хоз-во за рубежом. Растениеводство.* – 1969. – № 4. – С. 16–21.
13. Маслова И.Я. Диагностика и регуляция питания яровой пшеницы серой / И.Я. Маслова. – Новосибирск : Наука; Сиб. Узд-я фирма, 1993. – 124 с.
14. Слюсарев В.Н. Свойства чернозема выщелоченного и его обеспеченность сульфатами при различных технологиях выращивания озимой пшеницы / В.Н. Слюсарев // *Агроэкол. пробл. в сельск. хоз-ве : сб. науч. тр.* – Воронеж. ГАУ. – Воронеж, 2005. – Ч. 2. – С. 107–111.
15. Виткаленко Л.П. Улучшение качества зерна озимой пшеницы под влиянием серы / Л.П. Виткаленко // *Вопр. физиол. пшеницы.* – Кишинев, 1981. – С. 119–122.
16. Шкель М.П. Влияние серосодержащих удобрений на урожай и качество зерна / М.П. Шкель // *Пробл. интенсификации растениеводства.* – Таллин, 1975. – С. 395–398.
17. Malle Järvan. Влияние некорневой подкормки серой на элементы структуры урожая и урожай зерна мягкой озимой пшеницы / Järvan Malle, Mati Kuuskla // *Conferens of the Faculty of Agronomy of EOU Estonian Research Institute of Agriculture and Jõgeva Plant Breeding Institute "Agronomi 2005".* – Tartu, 2005. – *Est. Agr. Univ. Trans.* – 2005. – V. 220. – P. 63–65.
18. Ivanic J. Dynamika zminn obsuhe roslinonych frakeii siry v pode vo vztehu k jej resorocii rastlinami jacmena pocas vegetacii / J. Ivanic // *J. Acta fytotechu.* – 1981. – V. 37. – P. 139–149.
19. Мамедов Р.Ю. Влияние серы на урожай и качество кукурузы / Р.Ю. Мамедов // *Агрохимия.* – 1976. – №1. – С. 101–103.
20. Анспок П.И. Применение магния, серы, микроудобрений и нитрагина / П.И. Анспок // *Научные основы применения удобрений в Белорус. ССР, Лит. ССР, Латв. ССР и Эстон. ССР.* – Минск, 1976. – С. 43–56.
21. Bloem Elke. Einfluss der Schwefelversorgung auf die unterschiedlichen Schwefelfractionen bei verschiedenen Rapslinien / Elke Bloem, Ioana Sales, Silvia Haneklaus // *Bundesforschungsanst. Landwirt (FAL).* – Braunschweig, 2002. – P. 1.
22. Сырый Н.М. Последствие серосодержащих и минеральных удобрений на урожай и качество люцерны на черноземе моном / Н.М. Сырый // *Тр. Харьк. СХИ.* – 1972. – Т. 161. – С. 194–202.
23. Сырый Н.М. Действие серы и некоторых ее соединений на урожайность и качество зерна ячменя, выращиваемого на моном черноземе / Н.М. Сырый // *Тр. Харьк. СХИ.* – 1970. – Т. 87. – С. 168–172.
24. Лавренко Т.Т. Сера в питании культурных растений / Т.Т. Лавренко // *Сельск. хоз-во за рубежом. Растениеводство.* – 1968. – № 8. – С. 13–15.
25. Peller D. Optimisation de la fumure soufree par estimation du risque de carence. 1. Colza d'automne / D. Peller, Edith Mercier, Ursula Balestra // *Rev. suisse agr.* – 2003. – V. 35. № 4. – P. 161–167.
26. Welsch Daniel L. Processes affecting the response of sulfate concentrations to clearcutting in a northern hardwood forest Catskill Mountains New York USA / Daniel L. Welsch, Douglas A. Burns, Peter S. Murdoch // *Biogeochemistry.* – 2004 – V. 68. № 3. – P. 337–354.
27. Patil S.S. Effect of nitrogen and sulphur levels on yield, quality and nutrient uptake by niger (*Guizatia abyssinica* Cass.) in lateritic soil of Komcan / S.S. Patil, D.J. Danke, J.H. Dongale // *J. Maharashtra Agr. Univ.* – 2006. – V. 31. – № 1. – P. 1–4.
28. Cheng-Kai Xu. Atmospheric sulfur deposition for a red soil broadleaf forest in

southern China / Xu Cheng-Kai, Hu Zheng-Yi, Cai Zu-Cong // *Pedosphera*. – 2004. – V. 14. № 3. – P. 323–330.

29. Гончаренко В.В. К вопросу применения серосодержащих веществ под гречиху на черноземах Харьковщины / В.В. Гончаренко // *Тр. Горьк. СХИ.*– 1969. – Т. 73. – С. 158–163.

Приведен аналитический обзор относительно содержания соединений серы в растениях и почве, динамики их изменений и использования серосодержащих удобрений. Показано, что их применение оптимизирует рост и развитие растений, биохимические процессы, происходящие в них, повышает продуктивность сельскохозяйственных культур.

Соединения серы в почве и растениях, сульфаты, серосодержащие удобрения, продуктивность растений.

There is an analytical overview on the content of sulfur in plants and soil, the dynamics of change and the use of sulfur-containing fertilizers. It is shown that their use optimizes the processes of growth and development of plants, the flow of biochemical processes in plants, increases crop productivity.

Sulfur components in soil and plants, sulfates, sulfur fertilizers, plant productivity.