

DOI: 10.32636/01308521.2025-(78)-2-10

Оригінальна наукова стаття

УДК 635.15:631.5

**ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ДОЦІЛЬНІСТЬ
ВАРІАНТІВ ЗАСТОСУВАННЯ СУЛЬФАТУ АМОНІЮ
У СИСТЕМІ УДОБРЕННЯ РІПАКУ ОЗИМОГО
НА СІРИХ ЛІСОВИХ ҐРУНТАХ****Я. Г. Цицюра, О. П. Ткачук**

Вінницький національний аграрний
університет
вул. Сонячна, 3, м. Вінниця,
21008

Про авторів:

Ярослав ЦИЦЮРА,
кандидат сільськогосподарських
наук
ORCID: 0000-0002-9167-833X

Олександр ТКАЧУК,
доктор сільськогосподарських
наук, професор
ORCID: 0000-0002-0647-6662

Для листування:

Ярослав ЦИЦЮРА
e-mail: yaroslavtsytsyura@ukr.net

Інформація про фінансування:

Міністерство освіти і науки
України

Отримано:

1 вересня 2025 р.
Погоджено до друку:
24 листопада 2025 р.
Опубліковано:
30 грудня 2025 р.

В умовах трирічного циклу польових досліджень розглянуто та проаналізовано варіанти застосування сульфату амонію на двох адаптивних гібридах ріпаку озимого у двох формах – гранульованій та водному розчині з позиції оптимізації забезпечення рослин сіркою за суміжної оцінки ефективності такого забезпечення з огляду на формування умов перезимівлі рослин та формування основних результативних ознак їх урожайної продуктивності. Встановлено два можливих оптимальних та доцільних варіанти застосування сульфату амонію за вирощування високо інтенсивних гібридів ріпаку озимого на сірих лісових ґрунтах з метою максимальної реалізації їх урожайного потенціалу та збереження якості продукції. Перший передбачає дробне застосування сульфату амонію як в осінній, так і весняний період у формі водних розчинів концентрацією 1,67–2,85 % у критичні періоди росту і розвитку та загартовування рослин ріпаку озимого дозами за сіркою S_{6-12} кг/га діючої речовини (еквівалентна азоту (за співвідношення S/N у добриві 1,14) N_{5-10}) при загальній нормі внесення за вегетацію S_{40} . Другий передбачає застосування сульфату амонію у класичній формі з розподілом не менше 30 % під передпосівний обробіток, а решту – на початку відновлення вегетації рослин при загальній нормі внесення сірки до 70 кг/га діючої речовини.

Ключові слова: ріпак озимий, сульфат амонію, система удобрення, позакореневі підживлення, насіннева продуктивність.

Стаття з відкритим доступом на умовах ліцензії Creative Commons.

© Цицюра Я. Г., Ткачук О. П., 2025

The efficiency and feasibility of ammonium sulfate application options in the fertilization system of winter rapeseed on grey forestal soils

Vinnitsia National Agrarian University
3 Sonyachna St., Vinnitsia, 21008

About authors:

Yaroslav TSYTSYURA
ORCID: 0000-0002-9167-833X

Oleksandr TKACHUK
ORCID: 0000-0002-0647-6662

For corresponding:

Yaroslav TSYTSYURA
e-mail: yaroslavtsytsyura@ukr.net

Funding information:

Ministry of Education and Science of Ukraine

Received:

September 1, 2025

Accepted:

November 24, 2025

Published:

December 30, 2025

Within a three-year cycle of field experiments, the options of applying ammonium sulfate in two forms – granulated and aqueous solution – were considered and analyzed for two adaptive hybrids of winter rapeseed. The focus was on optimizing plant sulfur nutrition alongside assessing the effectiveness of such supply in terms of creating favorable conditions for overwintering and forming the main yield-determining traits of crop productivity. Two possible optimal and feasible application options of ammonium sulfate for cultivating high-intensity winter rapeseed hybrids on grey forestal soils were established with the aim of maximizing yield potential realization and maintaining product quality. The first involves fractional application of ammonium sulfate both in autumn and spring in the form of aqueous solutions with concentrations of 1.67–2.85 % during the critical stages of growth, development, and hardening of winter rapeseed plants, at sulfur doses of S_{6-12} kg/ha of active substance (equivalent to nitrogen at an S/N ratio in the fertilizer of 1.14, N_{5-10}), with a total seasonal application rate of S_{40} . The second option implies the use of ammonium sulfate in its classical form, with at least 30 % applied before sowing tillage, and the remainder at the beginning of vegetation renewal, with a total sulfur application rate of up to 70 kg/ha of active substance.

Keywords: winter rapeseed, ammonium sulfate, fertilization system, foliar feeding, seed productivity.

This is an open-access article under the terms of the Creative Commons.

Вступ. Для аграрного сектору України ріпак озимий залишається стратегічною культурою та лідером експорту, формуючи диверсифікований варіант реалізації та логістики з огляду на багатоцільовий напрямок його використання у світовій практиці перероблення [4]. Ціна на ріпак завжди є привабливою і має істотно вищий рівень у порівнянні із рядом традиційних зернових та зернобобових культур [18]. Такі чинники формують постійний інтерес до цієї культури, інвестиції у наукову сферу розробки ефективних та адаптованих технологій її вирощування, селекцію сортів та гібридів, розвиток інновацій у сфері адаптації рекомендованих технологій вирощування ріпаку озимого орієнтованих на конкретні генотипи [47]. Внаслідок цього, рівень біологічної продуктивності лінійки сортів та гібридів ріпаку озимого, рекомендованих для вирощування у різних регіонах світу перевищує показник в 6–7 т/га [70]. При цьому, на жаль, фактична

урожайність вирощуваних сортів і гібридів у середньому вимірі наближається у кращому випадку до 55–60 % реалізації відміченого урожайного потенціалу [66]. Причини цього варіюють залежно від країни та ґрунтово-кліматичної зони, ресурсного забезпечення території та застосованої технології вирощування ріпаку озимого [59]. При цьому, значну частину впливу на рівень відміченої реалізації насінневої продуктивності чинить система удобрення, яку застосовують за вирощування ріпаку озимого. Її частка у детермінації даного показника для ріпаку озимого перевищує 35–40 % [60]. З огляду на це оптимізація системи удобрення ріпаку озимого в умовах конкретного господарства формує позитивні та стійкі передумови для забезпечення галузі ріпаківництва в Україні відповідним рівнем адекватної продуктивності посівів цієї культури та сталість і надійність у забезпеченні ринково необхідних обсягів виробництва [18].

Відомо, що ріпак озимий досить вибаглива культура до системи її живлення з огляду на наявний поділ вегетації на два життєво важливих періоди (осінній та весняно-літній), що потребує окремих, але збалансованих тактик ґрунтового живлення на фоні адаптивного додаткового живлення користуючись з системи позакореневих корекцій [35, 69]. Крім того, наявність періоду перезимівлі вимагає балансування удобрення певним комплексом мікроелементів, які формують умови успішної перезимівлі та забезпечують оптимізовані варіанти відновлення вегетації на весні, особливо за умови складного періоду перезимівлі [57]. Враховуючи визначену чутливість рослин ріпаку озимого до ряду мікроелементів таких як бор, сірка, молібден, а також до важливих катіонів базового фізіологічного обміну таких як кальцій та магній – важливим є збалансований варіант системи удобрення, який поєднував би комплексний варіант застосування макро- та мікроелементів в єдиному комплексі у періоди, які на певні терміни передують критичним з позиції забезпечення відповідними елементами живлення [50].

У продовження вище сказаного, сірка для рослин ріпаку озимого є важливим елементом, яка формує фізіологічні процеси направлені на гармонізацію обміну рослин, зокрема азото-білкового. Вона також сприяє формування адаптивного комплексу реакцій пристосованості до негативних чинників довкілля, особливо у період перезимівлі [37]. Даний елемент – активний компонент імунітету та комплексу імунологічних реакцій при відповідних ураженнях [36]. Сірка відповідає за важливу функцію формування жирнокислотного складу насіння, загальний вміст в ньому олії тощо. [69]. З огляду на важливість сірки як для ріпаку озимого, так і для озимих культур в цілому – активно досліджуються варіанти удобрення з включенням до їх структури сірковмісних добрив. Такі дослідження направлені на оптимізацію сіркового живлення шляхом використання базових мінеральних добрив, які у своєму дієвому

складі містять доступну сірку [31, 32] або ж дослідження системи мікродобрив за їх листового внесення [58]. У цій науковій дискусії активно вивчається ефективність різноваріантного застосування сірковмісних азотних добрив – спосіб який має дуальне важливе значення з позиції як гармонізації засвоєння азоту та реалізації його загального біологічного значення для рослин ріпаку озимого, так і з позиції формування сприятливих чинників для максимальної реалізації фізіологічного потенціалу відповідних генотипів з результативним ефектом отримання істотно вищих рівнів урожаю [40, 43, 48].

З огляду на відмічені аспекти – актуальним буде вивчення конкретної форми сірковмісного азотного добрива з позиції його ефективності за різноваріантних систем застосунку у технології вирощування ріпаку озимого в умовах конкретного ґрунтового-кліматичного регіону.

З врахуванням вище відміченого, метою досліджень було вивчення ефективності та доцільності застосування відомого добрива сульфату амонію за вирощування високо інтенсивних гібридів ріпаку озимого в умовах нестійкого зволоження на сірих лісових ґрунтах, які у загальному мають ознаки помірного дефіциту рухомих форм сірки, що впливає на рівень біопродуктивності вирощуваних культур чутливих до її нестачі, до яких відносять і ріпак озимий.

Матеріали і методи. Дослідження проведено за період трьох вегетацій ріпаку озимого (2022–2025 рр.) в умовах НДГ «Агрономічне» Вінницького національного аграрного університету (ВНАУ) на сірих лісових ґрунтах з таким середньозваженим агрохімічним потенціалом (за результатами аналізу зразків ґрунту у сертифікованій Науковій вимірювальній агрохімічній лабораторії ВНАУ відповідно до стандартних протоколів визначення): вміст гумусу – 2,72 %; легкогідролізованого азоту – 80,9 мг/кг ґрунту; рухомого фосфору (за Чиріковим) – 146,5 мг/кг ґрунту, обмінного калію (за Чиріковим) – 105,9 мг/кг ґрунту; pH_{KCl} – 5,8.

1. Схема дослід з вивчення ефективності варіантів застосування сульфату амонію у технології систем удобрення гібридів ріпаку озимого, 2022–2025 рр.

Індикаційний номер варіанту	Зміст варіанту
I	Контроль (без застосування сульфату амонію) $N_{120}P_{90}K_{90}$ з розподілом: P_{90} (суперфосфат подвійний) + K_{90} (калій хлористий) – під основний обробіток + N_{20} (аміачна селітра) – під передпосівний обробіток + N_{60} (аміачна селітра) – на початку відновлення вегетації (ВВСН 20-22) + N_{40} (аміачна селітра) – у період активного росту бокових пагонів (ВВСН 42-44) (варіант без внесення сірки)
II	$N_{120}P_{90}K_{90}$ з розподілом: P_{90} (суперфосфат подвійний) + K_{90} (калій хлористий) – під основний обробіток + N_{10} (аміачна селітра) – під передпосівний обробіток + N_5 (водний розчин 1,67 % сульфату амонію) у фазу 4 листка (ВВСН 14)) + N_5 (водний розчин 1,67 % сульфату амонію) у фазу 6–7 листка (ВВСН 16)) + N_{40} (аміачна селітра) – на початку відновлення вегетації (ВВСН 20-22) + N_{10} (водний розчин 2,85 % сульфату амонію) у фазу початку росту головного пагона (ВВСН 29-30)) + N_{35} (аміачна селітра) – у період активного росту бокових пагонів (ВВСН 40-42) + N_{10} (водний розчин 2,85 % сульфату амонію) у фазу початку бутонізації (ВВСН 50-51)) + N_5 (водний розчин 1,67 % сульфату амонію) у фазу середини цвітіння (ВВСН 62-63)). За варіантом внесено загалом S_{40} , в т. ч. після відновлення вегетації S_{28} .
III	$N_{120}P_{90}K_{90}$ з розподілом: P_{90} (суперфосфат подвійний) + K_{90} (калій хлористий) – під основний обробіток + N_{20} (сульфат амонію) – під передпосівний обробіток + N_{40} (аміачна селітра) – на початку відновлення вегетації (ВВСН 20-22) + N_9 (водний розчин 2,85 % сульфату амонію) у фазу початку росту головного пагона (ВВСН 29-30)) + N_{36} (аміачна селітра) – у період активного росту бокових пагонів (ВВСН 40-42) + N_{10} (водний розчин 2,85 % сульфату амонію) у фазу початку бутонізації (ВВСН 50-51)) + N_5 (водний розчин 1,67 % сульфату амонію) у фазу середини цвітіння (ВВСН 62-63)). За варіантом внесено S_{50} , в т. ч. після відновлення вегетації S_{28} .
IV	$N_{120}P_{90}K_{90}$ з розподілом: P_{90} (суперфосфат подвійний) + K_{90} (калій хлористий) – під основний обробіток + N_{20} (аміачна селітра) – під передпосівний обробіток + N_{53} (сульфат амонію) – на початку відновлення вегетації (ВВСН 20-22) + N_{47} (аміачна селітра) – у період активного росту бокових пагонів (ВВСН 42-44). За варіантом внесено S_{60} , в т. ч. після відновлення вегетації S_{60} .
V	$N_{120}P_{90}K_{90}$ з розподілом: P_{90} (суперфосфат подвійний) + K_{90} (калій хлористий) – під основний обробіток + N_{20} (сульфат амонію) – під передпосівний обробіток + N_{42} (сульфат амонію) – на початку відновлення вегетації (ВВСН 20-22) + N_{58} (аміачна селітра) – у період активного росту бокових пагонів (ВВСН 42-44). За варіантом внесено S_{70} , в т. ч. після відновлення вегетації S_{48} .

Програма досліджень передбачала загальну схему, яка представлена в таблиці 1 та включала накладення даних технологічних варіантів на агроценози двох

гібридів ріпаку озимого компанії Декалб, які різнились за базовими (стартовими) рекомендованими технологіями вирощування ріпаку озимого – ДК

Експовер (традиційна за ресурсною місткістю технологія вирощування) та ДК Іммінент КЛ.

Схема досліду передбачала застосування чотириразової повторності з систематичним у два яруси розміщенням дослідних ділянок при обліковій площі дослідної ділянки 70 м², а загальній – 98 м². У організації та методологічному супроводі досліджень застосовано стандартні рекомендації проведення польових дослідів з агрохімікатами [8].

Попередником у досліді була пшениця озима. Після збору попередника було проведено дискування у два сліди на 6–8 см з наступною оранкою на глибину 23–25 см. Строк сівби відповідав періоду першої декади вересня з нормою висіву 500 тис. насінин/га (за ширини міжрядь 35 см) у комплексі з післяпосівним коткуванням. Всі інші елементи технології, за виключенням поставлених на вивчення, відповідали зональним рекомендаціям вирощування ріпаку озимого в зоні Лісостепу правобережного та були однотиповими для всіх дослідних варіантів передбачених схемою досліду [7].

У досліді використано мінеральні добрива класичного типу, які відповідають технічним умовам та сертифікатам якості. Водні розчини сульфату амонію було приготовлено з класичного гранульованого сульфату амонію шляхом розчинення його у воді перед внесенням з інтенсивним перемішуванням розчину. Концентрація розчину застосування представлена у загальній схемі досліду (табл. 1). Внесення добрив проводилось вручну (поділянково) з розрахунку визначеної норми та її пропорційного співвідношення на площу ділянки. Внесення водних розчинів добрива проводили звичайним ранцевим обприскувачем. Для фенологічної ідентифікації розвитку рослин ріпаку було застосовано періодизацію за міжнародною шкалою BBCH для ріпаку озимого [41].

Нижче наведено коротку характеристику гібридів ріпаку, які використані у дослідженнях.

ДК Експовер – високопластичний ранньостиглий гібрид, який має високі темпи динаміки росту після відновлення вегетації навесні за рахунок здатності ефективного використання ґрунтової вологи та позитивного відклику на осіннє удобрення. Має комплексну стійкість до основних фітопатогенів (наявний в транскрипті геному ген стійкості RLM7). Високостійкий (8–9 балів) до осипання та розтріскування стручків. Загальна висота рослин в межах 150–160 см при масі 1000 насінин в межах 4,8–5,7 г за рівня олійності насіння 47–48 %. Урожайний потенціал на ріні 4,5–5,5 т/га.

ДК Іммінент КЛ – високопластичний середньостиглий гібрид ріпаку озимого з інтегрованою стійкістю (7–8 балів) до комплексу основних хвороб та пізніми строками цвітіння. Має виражені ознаки компенсаторного характеру зі здатністю до інтенсивного бічного галушення, особливо за оптимізації умов мінерального живлення. Має анатомічне розвинене стебло висотою в інтервалі 170–190 см та глибоко проникну кореневу систему, а також високу стійкість до розтріскування стручків та осипання насіння. Маса 1000 насінин в інтервалі 4,7–5,5 г, олійність насіння у межах 47–49 %. Урожайний потенціал на рівні 5,5–6,5 т/га.

Морфометричні та вагові параметри рослин визначали у період входження рослин у зиму (BBCH 17-18) та у період фенологічної фази початку утворення стручків (BBCH 71-73). Морфологічні параметри, які обліковувались у перший період – діаметр кореневої шийки (см), кількість листків на рослині (шт.), висота розміщення точки росту над поверхнею ґрунту (см). У другий період обліковано такі показники як: висота рослин (від кореневої шийки до верхівки головного стебла, см), сформована маса рослин у сухій речовині (г/м²), ступінь полеглих рослин (%). Обліки вказаних параметрів проводили відповідно до рекомендацій польових досліджень із хрестоцвітими культурами [15]. Для вимірювань було використано мірну лінійку

висотою 2 м та електронний штангенциркуль LAOA 150 мм (точність вимірів до 0,01 мм).

Для оцінки перезимівлі рослин гібридів ріпаку озимого було оцінено показник перезимівлі рослин як співвідношення густоти стояння після відновлення вегетації рослин рано на весні до густоти їх стояння перед входженням у зиму виражене у % [15].

Збереженість рослин визначали як відношення густоти стояння рослин на період дозрівання насіння (ВВСН 80-82) до аналогічного показника на період весняного відновлення вегетації рослин (ВВСН 20-22) виражене у % [15].

Облік густот стояння рослин у вказані вище фенологічні терміни та періоди проведено відповідно до стандартної методології рамковим способом за рандомізованим накладанням рамки у межах дослідних ділянок у кожному повторенні [11].

Облік ступеня полеглих рослин гібридів ріпаку озимого проводили відповідно до методології описаної [17, 67] та виражали у % полеглих рослин з кутом нахилу більше 45° до уявної ортогональної осі стебла проти загальної кількості стебел на 1 м².

Додатково для оцінки впливу варіантів удобрення на показники фертизації генеративної частини рослин ріпаку було оцінено показник абортивності квіток, який визначали на 25 типових рослинах як відношення кількості квітконіжок без сформованої квітки у межах головної осі суцвіття до загальної кількості квітко елементів та виражали у % [61].

Для визначення показника виходу сухої маси рослин з одиниці площі спочатку обліковували її значення за фактичної вологості маси на облікових майданчиках в 1 м² розміщених у середній частині ділянки кожного повторення з наступним переведенням показника у вираз сухої речовини, відповідно до визначеного вмісту сухої речовини [12]. Вміст сухої речовини у надземній листостебловій масі визначали відповідно до стандартного методу її висушування до постійної маси при 105 °С у сушильній шафі (термостатно-ваговий

метод) [15]. Масу 1000 насінин визначали за загальної методикою визначення відповідно до державного стандарту України [3].

Облік урожайності у межах варіантів досліду проводили методом поділянкового обмолоту у кожному повторенні та наступного зважування отриманого насіння після очищення із калькуляцією урожайності у переведенні на гектарну площу та стандартну вологість (12 %) [15].

Вміст олії в насінні дослідних зразків проводили в умовах лабораторії якості та сертифікації продукції ПРАТ «ВІННИЦЬКИЙ ОЖК», (м. Вінниця) відповідно до стандартних протоколів визначення лабораторними методами [12].

Для оцінки гідротермічних режимів вегетації ріпаку озимого за роки досліджень було застосовано такі показники як: середньодобова температура (°С), кількість опадів (мм), відносна вологість (%), гідротермічний коефіцієнт (ГТК, формула 1), індекс посушливості (аридності) де Мартонна [52] (I_n , формула 2), коефіцієнт зволоження Висоцького-Іванова (K_z , формула 3).

$$ГТК = \frac{\sum R}{0.1 \times \sum t_{>10}}, (1)$$

де $\sum R$ – сума опадів за період з температурою вище 10 °С, $\sum t_{>10}$ – сума ефективних температур за період досліджень. Рейтинг умов за значенням ГТК [1]: ГТК > 1,6 – надмірна вологість; ГТК 1,3-1,6 – вологі; ГТК 1,0-1,3 – помірно сухі; ГТК 0,7-1,0 – сухі; ГТК 0,4-0,7 – дуже сухі.

$$I_n = \frac{12P}{t+10}, (2)$$

де P , t – сума опадів (мм) та середньодобова температура повітря (°С) у відповідному місяці. Відповідно до значень I_n , розрахованих за наведеним вище рівнянням, гідротермічний режим регіону може бути класифікований (за адаптацією) [20]: аридний – $I_n < 10$; напіваридний – $10 \leq I_n < 20$; м'який – $20 \leq I_n < 24$; напіввологий – $24 \leq I_n < 28$; вологий – $28 \leq I_n < 35$; дуже вологий – $35 \leq I_n \leq 55$; надзвичайно вологий – $I_n > 55$.

Коефіцієнт зволоження Висоцького-Іванова (K_z) визначався за формулою 3 [27]:

$$K_3 = \frac{P}{E}, (3)$$

де P – кількість опадів за аналізований період, мм; E – випаровуваність за аналізований період (розраховано відповідно до формули 4 [1]), мм. Градація ступенів зволоження за показником K_3 [27]: $K_3 > 1,0$ – період з надмірним зволоженням; K_3 , близький до 1 – оптимальне зволоження; $K_3 = 1,0-0,6$ – нестійке зволоження; $K_3 = 0,6-0,3$ – недостатнє зволоження.

$$E = 0,0018 \times (25 + t)^2 \times (100 - a), (4)$$

де t – середня температура повітря за період, °C; a – середня вологість повітря за аналізований період, %.

Для статистичної оцінки результатів досліджень застосовано систему порівняння істотності різниці між варіантами на рівні статистичної значущості ($p < 0,05$) у рамках дисперсійного аналізу багатофакторного польового відповідно до стандартних методик [51].

Результати та обговорення. Гідротермічний режим за вегетаційні періоди ріпаку озимого у період досліджень характеризувався як відносно сприятливий для забезпечення як ростових, так і продуктивно формувальних процесів та мав певні відмінності (табл. 2, рис. 1).

2. Сегментована оцінка значень гідротермічних режимів періоду вегетації ріпаку озимого за основними результуючими параметрами та коефіцієнтами, 2022–2025 рр.

Рік	Сума опадів, мм (осінній період вегетації IX–XI)	t _{ср.} , °C (осінній період вегетації)	Місяці періоду вегетації											
			IV			V			VI					
			ГТК	I _п	K ₃	ГТК	I _п	K ₃	ГТК	I _п	K ₃			
2022	309,4	9,9	0,56	57,4	2,33	1,43	31,3	0,79	1,50	36,1	0,85			
2023	168,8	13,9	1,54	91,5	3,33	0,08	1,9	0,04	1,64	38,9	0,87			
2024	262,1	16,27	3,26	47,5	3,18	0,58	13,2	0,24	1,66	40,4	0,98			
2025	–	–	0,98	18,1	0,65	7,42	149,9	2,87	0,37	8,82	0,20			
Рік	Сума опадів, мм (осінній період вегетації IX–XI)	t _{ср.} , °C (осінній період вегетації)	Місяці періоду вегетації											
			VII			VIII			IX			X		
			ГТ К	I _п	K ₃	ГТ К	I _п	K ₃	ГТ К	I _п	K ₃	ГТ К	I _п	K ₃
2022	–	–	0,90	22,4	0,58	1,71	43,1	1,06	4,96	98,1	2,60	3,17	51,4	1,50
2023	238,1	15,5	1,41	35,8	0,82	0,65	16,9	0,36	1,01	23,4	0,63	1,03	29,9	0,93
2024	262,1	16,3	1,19	31,1	0,66	0,77	19,8	0,41	0,45	10,6	0,22	1,17	30,5	1,06
2025	337,4	14,4	2,65	65,3	1,49	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Погодні умови 2022/2023 осіннього періоду вегетації ріпаку озимого відмічено з режимом надмірного зволоження при загальній сумі опадів 309,4 мм, рівневі середньодобових температур – 9,9 °C та ГТК (2022 р., IX–X місяці) – 4,07. Такі умови були сприятливими для інтенсивного вегетативного розвитку рослин та створювали ризики для

перезимівлі. Навпаки, період активної весняної вегетації характеризувався оптимальними умовами гідротермічних режимів за загальної суми опадів на рівні 238,1 мм, середньодобової температури – 15,5 °C та середнього показника ГТК (2023 р., IV–VI місяці) – 1,08.

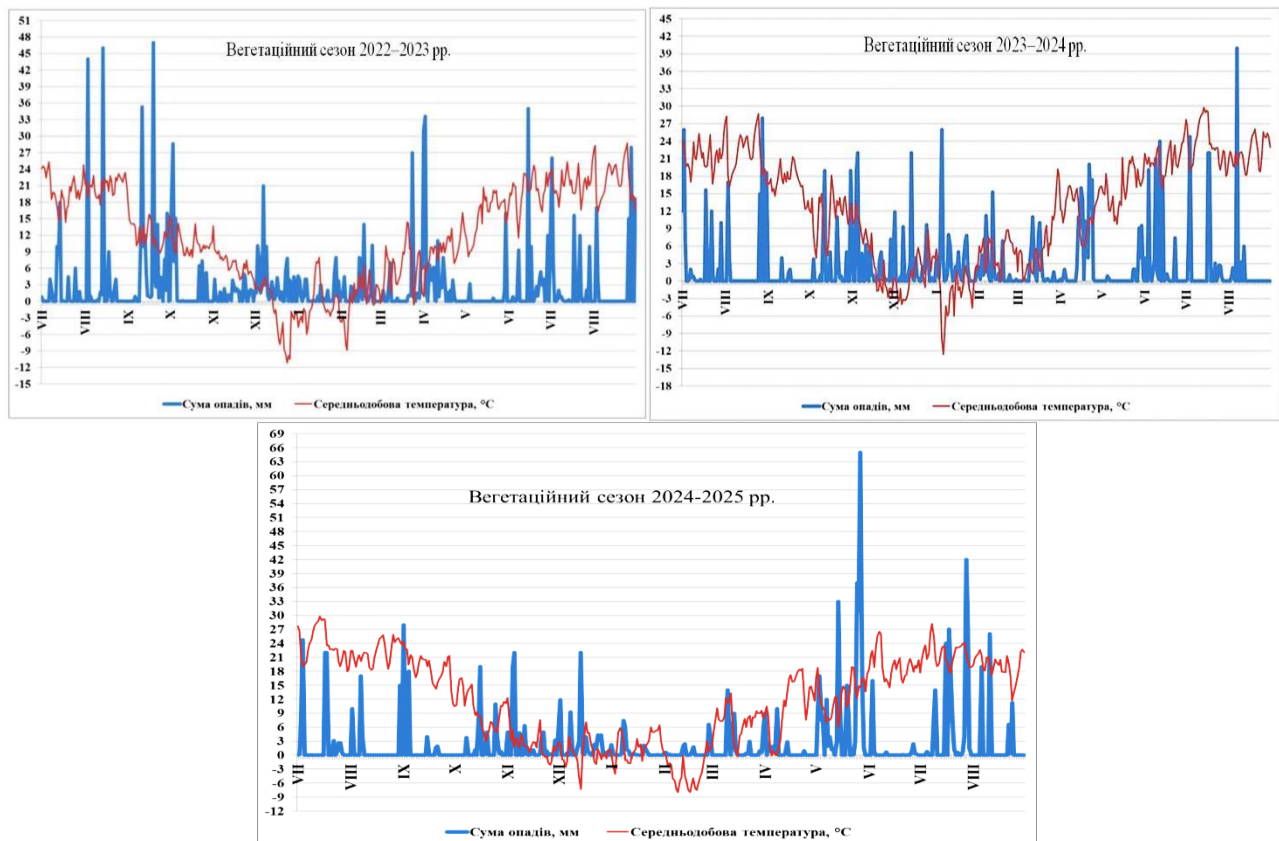


Рис. 1. Динаміка середньодобової температури та суми опадів за період вирощування ріпаку озимого, 2022–2025 рр.

Погодні умови 2023/2024 вегетаційного періоду відмічено як сприятливі для формування ідіотипу рослин для успішної перезимівлі рослин за середньодобової температури в період активної осінньої вегетації на рівні 13,9 °C, суми опадів – 168,8 мм та середньому за період ГТК (2023 р., IX–X місяці) – 1,02. На противагу осінньому періоду, весняно-літній період вегетації визначено як відносно сприятливий за рахунок нерівномірного розподілу опадів, інтенсивного наростання температури до середньодобового значення 19,2 °C за період травня – середини червня (рис. 1). Проте в цілому відмічено задовільний рівень атмосферного зволоження та гідротермічних умов (сума опадів за період активної весняно-літньої вегетації – 262,1 мм, середньодобової температури – 16,3 °C при середньому за період ГТК (2024 р., IV–VI місяці) – 1,833)).

Гідротермічний режим 2024/2025 вегетації характеризувався посушливим

періодом осінньої вегетації на фоні інтенсивного зниження температур (середні за період параметри ГТК (2024 р., IX–X місяці) – 0,81, середньодобова температура – 14,2 °C, сума опадів – 107,2 мм). Період весняної вегетації також характеризувався несприятливими ознаками за рахунок тривалого періоду аномально низьких температур, які тривали аж до початку бутонізації ріпаку озимого на фоні нерівномірного атмосферного зволоження з короточасним періодом випадання значної частини місячної норми опадів. За цей період ГТК (2025 р., IV–VI місяці) становив 2,92 за середньодобової температури – 14,4 °C та суми опадів 337,4 мм. Такий характер спричинив найнижчий рівень продуктивності гібридів ріпаку у межах варіантів дослід у порівнянні вивчаючих вегетаційних сезонів.

У загальному підсумку на основі представлених шкал оцінки показників гідротермічних умов вегетаційних періодів

ріпаку озимого (ГТК, I_п та K₃) їх було розміщено в такому порядку зростання сприятливості для реалізації урожайного потенціалу гібридів культури 2024/2025 – 2023/2024 – 2022/2023, які вивчалися.

Результати вивчення варіантів застосування сульфату амонію засвідчили різномірний їх вплив на морфологічний стан рослин ріпаку озимого для обох гібридів перед входженням у зиму, що сформувало істотно відмінні передумови для успішної перезимівлі та відповідних стартових умов у період відновлення вегетації та активних ростових процесів на весні.

Встановлено, що різні варіанти застосування сульфату амонію визначали істотні відмінності щодо як загальної морфометрії рослин перед входом у зимовий період, оскільки похідна від цього фактора – стан перезимівлі рослин для обох гібридів ріпаку озимого (табл. 3). У цьому плані максимально позитивного ефекту впливу на процес проходження перезимівлі було отримано у варіанті застосування

дрібного внесення водних розчинів сульфату амонію у фазу 4 та у фазу 6–7 листка (варіант II). Саме для цього варіанту у середньо багаторічній оцінці відмічено формування рослин з максимально розвиненою архітектонікою, яка за своїми параметрами не перевищували загальновизнаний оптимум морфологічного стану рослин ріпаку озимого перед входженням у зиму для гарантованої перезимівлі [2]. У порівнянні значень морфологічного розвитку рослин ріпаку озимого гібрида ДК Експер для даного варіанту II до контролю (варіант I) визначено абсолютний приріст за параметром діаметра кореневої шийки 57,75 %, висотного розміщення точки росту над поверхнею ґрунту 55,56 % та кількості листків на рослині 45,93 %. Це додатково забезпечило зростання загальної збереженості рослин після відновлення вегетації у вказаному порівнянні на 14,50 %, а відсотку перезимівлі – на 14,92 %.

3. Морфологічний розвиток рослин гібридів ріпаку озимого залежно від варіантів удобрення (середнє за 2022–2025 рр.)

Гібрид	Шифр варіанту*	Середні показники морфологічного розвитку та просторового розміщення рослин				Густота стояння рослин на початок відновлення вегетації, шт./м ²	Перезимівля рослин, %
		густота стояння рослин, шт./м ²	діаметр кореневої шийки, см	висота точки росту над рівнем ґрунту, см	кількість листків на рослині, шт.		
ДК Експер	I	49,23 ± 1,12 ^a	0,71 ± 0,12 ^a	1,17 ± 0,11 ^a	6,14 ± 1,09 ^a	34,28 ± 1,07 ^a	69,63 ± 1,25 ^b
	II	49,05 ± 1,18 ^a	1,12 ± 0,14 ^c	1,82 ± 0,15 ^c	8,96 ± 1,35 ^d	39,25 ± 1,18 ^d	80,02 ± 1,17 ^e
	III	50,58 ± 1,23 ^b	0,98 ± 0,11 ^b	1,55 ± 0,17 ^b	7,84 ± 1,27 ^b	37,21 ± 1,33 ^b	73,57 ± 1,24 ^c
	IV	50,05 ± 1,19 ^a	0,75 ± 0,18 ^a	1,19 ± 0,15 ^a	6,54 ± 1,12 ^a	34,08 ± 1,15 ^a	68,09 ± 1,21 ^a
	V	50,11 ± 1,22 ^a	0,97 ± 0,17 ^b	1,58 ± 0,19 ^b	7,52 ± 1,24 ^b	37,92 ± 1,38 ^b	75,67 ± 1,29 ^d
ДК Іммінент КЛ	I	48,98 ± 1,24 ^a	0,77 ± 0,15 ^a	1,53 ± 0,16 ^b	7,55 ± 1,11 ^b	33,05 ± 1,15 ^a	67,48 ± 1,41 ^a
	II	50,17 ± 1,35 ^b	1,27 ± 0,13 ^d	2,29 ± 0,19 ^d	9,45 ± 1,32 ^d	41,81 ± 1,22 ^e	83,34 ± 1,33 ^f
	III	50,53 ± 1,27 ^b	1,04 ± 0,12 ^c	1,78 ± 0,14 ^c	8,48 ± 1,28 ^c	38,25 ± 1,52 ^c	75,70 ± 1,32 ^d
	IV	50,15 ± 1,41 ^a	0,80 ± 0,11 ^a	1,52 ± 0,21 ^b	7,37 ± 1,08 ^b	34,82 ± 1,31 ^a	69,43 ± 1,55 ^b
	V	49,83 ± 1,29 ^a	1,07 ± 0,15 ^c	1,79 ± 0,13 ^c	8,29 ± 1,19 ^c	37,81 ± 1,25 ^b	75,88 ± 1,38 ^d

Примітка: *шифр варіантів згідно з табл. 1; **однаковими літерами позначені значення, які суттєво не відрізняються одне від одного у порівнянні варіантів досліду у єдиному масиві даних по гібридах на основі попарного порівняння варіантів за критерієм r_{adj} у системі Тьюкі тесту для рівня значущості $p < 0,05$.

Аналогічна динаміка визначена і для гібрида ДК Іммінент КЛ, де вказаний

приріст мав наступні послідовні значення: 64,93; 49,67; 25,16; 26,50 та 23,50 %.

Наступним по ефективності з близьким значенням показників були варіанти III та V де практикувалось внесення сульфату амонію повною дозою відповідно до регламенту по варіанту у передпосівний обробіток. За збереження прирістного характеру формування показників як морфометрії самих рослин, так і індикаторів успішної їх перезимівлі – власне значення приростів було у середньому меншим в 1,10 рази для гібрида ДК Експер та в 1,14 для гібрида Іммінент КЛ. При цьому за близьких та неістотно відмінних значеннях позитивної корекції показників загальний абсолютний приріст показника перезимівлі у середньому для даних варіантів був 7,17 % для гібрида ДК Експер та 12,31 % для гібрида ДК Іммінент КЛ. Отримані результати позитивно узгоджуються з висновками проведених досліджень [10, 13, 23, 25, 29] як з позиції ефективною ростовою корекції сірки у загальному морфологічному розвитку рослин ріпаку озимого внаслідок оптимізації азотного живлення за відомим критерієм співвідношення S/N [21, 23], так і з позиції формування оптимізації процесу іммобілізації рослинних тканин до динамічного зниження середньодобових температур та характеру динамізму процесу накопичення відповідних речовин (білків, цукрів, карбогідратів, глюкозинолатів), які у підсумку визначають толерантність рослин у фазі перезимівлі [29, 33, 38, 39]. Підтверджено також висновки, щодо ефективності застосування рідких форм добрив з позиції швидкості морфорегуляції та фізіологічного стану рослин у порівнянні до ефективності застосування кристалічних (гранульованих) форм добрив відмічену у цілому ряді досліджень [33, 42]. Зокрема, відмічено [19, 45], що водні розчини по швидкодії як мінімум на 15–25 % перевищують класичний варіант застосування сипучих гранульованих форм добрив, а можливість їх точкового дробного внесення у відповідно

фізіологічно критичні фенофази – гарантує надійність та агротехнологічну доцільність їх застосування. Позитивним вважається також зниження залежності застосування добрив у рідкій формі від рівня зволоження ґрунту, оскільки сама система внесення ґрунтується на листовій формі застосування з меншими обмежувачими ризиками та лімітами, що дозволяє додатково оптимізувати та модернізувати варіанти застосування добрив з огляду на гідротермічні умови територій [34, 38, 46, 49]. Крім того, зауважується, що одноразове внесення всієї норми сірки у формі різних добрив не завжди має позитивний вплив на ростові процеси та процеси формування продуктивності ріпаку озимого, оскільки є ряд обмежувачих чинників, які формують передумови як до міграції сполук сірки в ґрунтовому профілі, так і процеси її біологічної іммобілізації, що особливо відчутно на ґрунтах з невисоким запасом доступних форм сірки [24, 63].

У підсумку вказані позитивні аспекти були реалізовані у максимальних ефектах морфометрії рослин та стану їх перезимівлі у розрізі застосованих варіантів удобрення. Вказані узагальнення також підтверджено і порівнянням варіантів рідкого внесення сульфату амонію у дробному варіанті їх розподілення (варіант II досліді) до одноразового внесення сульфату амонію під передпосівний обробіток (варіанти III та V досліді) з істотно вищими значеннями показників для варіанту II за усередненого співвідношення між варіантами (III (V)/II) у значенні 0,895 для гібрида ДК Експер та 0,863 для гібрида ДК Іммінент КЛ.

Позитивний вплив застосування сірковмісних форм добрив з огляду на формування як динаміки ростових процесів, так і формування продуктивності рослин відмічено у застосуванні варіантів досліді у період після відновлення вегетації для обох гібридів ріпаку озимого (табл. 4).

4. Морфометрія та продуктивність рослин гібридів ріпаку озимого залежно від застосованих варіантів удобрення (середнє за 2022–2025 рр.)

Варіант удобрення (В)*	На період досягання насіння			Абортивність квіток на період завершення цвітіння, %	Маса 1000 насінин, г	Урожай- ність насіння, т/га	Олій- ність, %
	Висота рослин, см	Суша маса рослин, г/м ²	Полеглість рослин, %				
ДК Експовер							
I	160,9	1387,5	17,8	20,2	4,17	3,62	45,17
II	149,5	1671,2	9,6	10,7	4,95	4,47	46,93
III	151,4	1643,5	10,2	11,2	4,51	4,27	46,38
IV	158,8	1695,7	13,8	14,7	5,03	4,12	47,44
V	155,7	1604,7	11,5	13,3	4,77	4,21	47,06
НІР ₀₅							
A	1,87	39,3	1,32	0,33	0,11	0,11	0,13
B	1,14	27,9	1,74	0,25	0,08	0,09	0,08
AB	2,29	34,5	1,58	0,29	0,09	0,10	0,11
ДК Іммінент КЛ							
I	177,6	1507,3	20,9	22,4	4,43	3,83	44,81
II	161,8	1844,8	8,7	8,2	4,97	4,75	46,87
III	164,4	1835,2	10,8	10,9	4,88	4,69	46,47
IV	170,8	1887,6	14,3	13,5	5,12	4,35	47,55
V	166,7	1753,4	11,9	12,4	4,91	4,58	47,17
НІР ₀₅							
A	2,15	29,5	1,18	0,44	0,12	0,10	0,11
B	1,74	27,8	1,55	0,36	0,10	0,08	0,08
AB	3,27	28,7	1,39	0,39	0,11	0,09	0,09

Примітка: *шифр варіантів згідно з табл. 1; чинники досліду: А – гібрид, В – варіант удобрення, АВ – взаємодія чинників.

Встановлено вплив застосування сірки на результативність лінійних ростових процесів за ознакою довжини стебла для обох гібридів ріпаку озимого з характером сталого зниження показника, яке позитивно корелювало із нормою внесення сірки. Так, для гібрида ДК Експовер за норми внесення сірки (у діючій речовині) 40 кг/га (варіант II) у порівнянні до варіанту за повної відсутності сірки у технології вирощування (варіант I) відмічено у середньо багаторічному виразі зниження показника на 7,09 %, за норми сірки 50 кг/га (варіант III) – зниження на 5,90 %, за норми внесення 60 кг/га (варіант IV) – 1,31 % та за норми 70 кг/га (варіант V) – зниження на 3,23 %. Для гібрида ДК Іммінент КЛ аналогічні показники становили 8,90; 7,43; 3,83 та

6,14 %. На підставі цього можна стверджувати, що зниження показника співвідношення S/N у формуванні габітусу стебла ріпаку озимого позитивно впливає на формування рослин нижчої конструкції, що позитивно впливає як на зниження ризику вилягання рослин, так і з огляду на встановлені кореляції у співвідношенні векторів росту рослин ріпаку озимого (співвідношення вертикального та радіального росту) – формує рослини з оптимізованим галуженням, інтенсифікацією росту загальної біомаси [33, 55, 63]. При цьому крім значення згаданого співвідношення S/N в ефективності застосування сірки в корекції довжини стебла відмічено знову ж таки позитивне дробне застосування водних розчинів сульфату амонію (варіант II), що

додатково підтверджено у ряді досліджень коректування системи удобрення за рахунок застосування мікроелементів у конструювання системи удобрення ріпаку озимого. Зроблене узагальнення підтверджено результатами обліку сформованої загальної біомаси рослин у сухій речовині де варіант одноразового внесення S_{60} (варіант IV) продемонстрували вищі значення даного показника, сформувавши приріст до контролю (варіант I) на рівні 22,21 % для гібрида ДК Експер та 25,23 % для гібрида ДК Іммінент КЛ. Другим по ефективності був варіант комплексного дробного внесення сірки у форм водного розчину сульфату амонію як в осінній, так і весняний періоди (варіант II, внесення в весняний період S_{28}) з аналогічним приростом для гібридів 20,44 та 22,39 % відповідно.

Такий характер дозволяє узагальнити, що оптимізації ростових процесів рослин ріпаку озимого можна досягнути варіантом дробного застосування азоту і сірки у критичні ростові періоди ріпаку озимого за використання водних розчинів сульфату амонію, або ж одноразовим внесенням більш високої норми у період початку активних ростових процесів.

Проміжний варіант формування показника для обох гібридів відмічено за варіанту внесення S_{48} у весняно-літній період вегетації гібридів (варіант V). В підсумку взаємодія морфологічного і вегетативного розвитку у розрізі варіантів, що вивчалися забезпечила зниження загального відсотка полеглих рослин в агроценозі у порівнянні до контролю без застосування сірки у середньому на 6,53 % у гібрида ДК Експер та 9,48 % у гібрида ДК Іммінент КЛ. Відмічено певні особливості: з одного боку оптимізація зі зростанням дози сірки в період активного весняного росту сприяла подовженню стебла та збільшення загальної маси рослин на одиниці площі агроценозу ріпаку, проте за рахунок позитивного впливу сірки на анатомічні особливості стебел культури, які були відмічені у ряді наукових

публікацій [30, 33, 44, 45, 68] (а саме: потовщення стебла, підвищення його механічної міцності, формування більш компактної вагової (щільної) морфоструктури) визначено оптимальний інтервал застосування сірки у межах 28–48 кг/га, який забезпечує мінімізацію ризиків полягання посівів з огляду на досить високий рівень азотного живлення у схемі досліду у значенні 120 кг/га. За критерієм полеглості мінімальне значення відмічено у варіанті комплексного дробного внесення водного розчину сульфату амонію (варіант II) – зі зниженням показника полеглості у порівнянні до контролю (варіант I) на 8,2 % для гібрида ДК Експер та 12,2 % для гібрида ДК Іммінент КЛ. Мінімальну стійкість до вилягання за цим же показником полеглості обліковано у варіанті внесення S_{60} у період активного відростання рослин ріпаку озимого (варіант IV), де різниця до контролю (варіант I) була найменшою – 4,0 % для гібрида ДК Експер та 6,6 % для гібрида ДК Іммінент КЛ. З огляду на результати застосування відповідного нормування сірки в удобренні ріпаку та добором форм удобрення сіркою можна формувати позитивні передумови для стійкості до вилягання агроценозу та у перспективі позитивно впливати на рівень урожайності та його польову збереженість. Подібні висновки, щодо оптимального технологічного нормування дози сірки у технології вирощування ріпаку озимого відмічено у цілому ряді досліджень з оптимумом дозування від 30 до 60 кг [22, 30], хоча у науковій літературі максимум окреслено у нормі 90 кг/га сірки, а мінімум у значенні 20 кг/га у самі критичні періоди росту рослин ріпаку озимого [28, 30, 33].

Певні особливості ефективності сірковмісних добрив за вирощування ріпаку озимого відмічено і з позиції аналізу рівня абортивності квіток, як один із показників реалізації рівня насіннєвого потенціалу генотипу [26]. Вважається, що сірка сприяє оптимізації процесу фертизації рослин ріпаку озимого з позиції

рівномірності формування квіток та інтенсивності пилоутворення [30]. Проте є і застереження, що надмірне внесення сірки може спричинити певну асинхронізацію у кількості сформованих квіток та фізіологічними можливостями до здатності рослини забезпечити оптимальну тривалість цвітіння та супутні процеси запилення і запліднення [53]. Повідомляється при цьому що збільшення норми внесення сірки до 60–90 кг/га зумовлює інтенсивне подовження періоду цвітіння рослин, формування певної ярусності як цвітіння, що у підсумку може мати зворотний процес зростання їх абортивності, особливо на фоні високих доз азоту у системі живлення [44, 56, 58, 64]. Подібні особливості було підтверджено результатами даних досліджень де на фоні загального позитивного впливу додаткового застосування сірки (середнє по варіантах II–V) у порівнянні до контрольного варіанту без сірки (варіант I) отримано середній показник редукції абортивності квіток на 7,73 % для гібрида ДК Експовер та 11,15 % для гібрида ДК Іммінент КЛ. При цьому для обох гібридів ріпаку озимого мінімальна абортивність відмічена саме у варіанті комплексного дробного внесення сульфату амонію як в осінній, так і весняний періоди, а максимальна серед варіантів застосування сірки – за внесення 60 кг/га сірки у загальній кількості за період вегетації культури. Такий характер формування мав потенційний вплив на кількість сформованих плодоеlementів, тобто максимальна доза застосування сірки за період весняно-літньої вегетації гібридів ріпаку озимого в середньо багаторічному вимірі не забезпечувала збереженість максимальної кількості плодоеlementів, що у комбінації з облікованої густотою стояння рослин на період відновлення вегетації (табл. 3) сформувало передумови до загального нижчого облікованого врожаю насіння.

Відомо, що показник маси 1000 насінин в більшості культурних рослин в тому числі й у ріпаку озимого

залежить від збалансованого забезпечення рослинного організму мікроелементами [31]. Сірка у цьому плані належить до важливих елементів з позиції жирово-білкового обміну у процесах формування і наливу зерна, що у підсумку визначає загальну крупність насіння, його фізіологічну внутрішню щільність, а, отже, і вагові показники [42, 45]. Загальний позитивний вплив сірки визначено порівнянням норм та способів застосування сірковмісних добрив за технології вирощування ріпаку озимого. При цьому відмічено, що істотність позитивного впливу у формуванні показника маси 1000 насінин досягала за рахунок перенесення системи позакореневого підживлення сірковмісними добривами у період від початку цвітіння до початку формування стручків на головній осі суцвіття [4, 6, 49], а внесення високих доз сірки на початку ростових процесів мало нижчий ефект в оптимізації величини показника і залежало від гідротермічних умов, які склались у період від бутонізації до початку утворення стручків. За умови достатнього зволоження на фоні помірного температурного режиму відмічено переваги внесення сірки одноразово на початку активного росту рослин, за умови нестійкого зволоження та інтенсивного наростання середньодобових температур особливо у період формування стручків і насіння – перевагу мало застосування сірки у формі позакорневих підживлень мікродобривами [16, 24, 53, 55]. Такі висновки позитивно узгоджуються із середніми результатами представленими у табл. 4 де застосування сірки в удобренні в середньому по варіантах нормування застосування сірки та вивчаємих гібридах забезпечило приріст показника у значенні 0,59 г (13,78 % до контролю без застосування сірки (варіант I)). Максимальний показник маси 1000 насінин було відмічено у варіанті внесення сірки повною максимальною нормою S_{60} у період початку активного росту рослин обох гібридів ріпаку озимого, дещо менше значення показника (у середньому по

гібридах у значенні 0,12 г) було відмічено у варіанті комплексного дробного застосування водних розчинів сульфату амонію у формі позакореневого підживлення. Такі результати підтвердили вище озвучені висновки окремих дослідників та доводять необхідність можливого позитивного поєднання дробного внесення сірки за умови підвищення норм внесення від 5–10 кг/га до вищого показника у 12–15 кг/га.

Стосовно олійності насіння то її залежність від оптимізації живлення сіркою рослин олійної групи вже доведена [5, 46, 56, 63]. Дискусійними залишаються питання величини приростів у порівнянні до застосованих норм сірки, яке з позиції отриманих результатів коливається у межах від 0,7 до 3,5 % вмісту олії [62]. Такі результати підтверджено і результатами проведених обліків де відмічено загальну оптимізацію даного показника за застосування сірковмісних добрив у формі сульфату амонію (варіанти II–V) із середнім приростом до контролю без сірки (варіант I) на рівні 1,78 % для гібрида ДК Експовер та 2,21 % для гібрида ДК Іммімент КЛ. Максимальне значення олійності у середньому за період досліджень було зафіксовано у IV варіанті досліду дозування сірки за весняного внесення всієї норми сірки (S_{60}) після відновлення вегетації з приростом до контрольного варіанту для тих же гібридів у значенні 2,27 та 2,74 % відповідно. Такі результати додатково підтверджено висновками щодо пролонгованої дії сірки за нарощуваних норм на збільшення якісних показників урожаю за рахунок реутилізації елемента за вищих його концентрацій у тканинах рослини на фоні істотного вищого, або ж нарощуваного удобрення сіркою [63, 65].

Закономірно, що позитивне поєднання факторів оптимізації ростових та фізіологічних процесів гібридів ріпаку озимого відмічене раніше знайшло відображення у показниках сформованого урожаю насіння. Максимальний рівень урожаю, при цьому, для обох гібридів було зафіксовано у варіанті все того ж

комплексного дробного застосування сульфату амонію у формі водних розчинів з позакореневим підживленням з приростом до контролю 0,85 т/га у гібрида ДК Експовер та 0,92 т/га у гібрида ДК Іммімент КЛ. Щодо варіантів класичного застосування сульфату амонію у формі гранульованого добрива – відмічено переваги застосування позитивної комбінації застосування сульфату амонію в осінній період вегетації ріпаку озимого (S_{22}) та весняний період в період відновлення вегетації рослин (S_{48}) (варіант V), що дозволяє поєднати позитивні сторони впливу сірки на оптимізацію морфологічного розвитку рослин та успішної перезимівлі та активізацію росту і фізіологічного процесу обміну і синтезу компонентів рослинного організму у період активної його вегетації. Цей варіант забезпечив приріст урожайності у середньому по вивчаємих гібридах на рівні 0,67 т/га. При цьому загальний позитивний прирістний вплив від застосування сульфату амонію, з огляду на середнє значення по варіантах (II–V) та гібридах, становило 0,71 т/га до контролю.

Слід зазначити й певну генотипові специфічність прояву відклику рослин на застосовані елементи оптимізації з огляду на те, що усереднений прирістний характер формування результуючих ознак у гібрида ДК Іммімент КЛ був на 3,57 % вищим, ніж у гібрида ДК Експовер. Такі особливості вказують на те, що формат конструювання живлення сіркою ріпаку озимого залежить від адаптивного та продуктивного потенціалу відповідних генотипів культури, а також від групи їх стиглості. З огляду на твердження що генотипи ріпаку озимого більш тривалого фенологічного розвитку мають більшу потребу в основних мікроелементах – слід очікувати більш виражену їх реакцію на застосування коректуючих норм відповідного мікроелементу [14, 64, 68]. Такі узагальнення позитивно узгоджуються із представленими результатами, враховуючи той факт, що гібрид ДК Іммімент КЛ

належить до середньостиглої групи, а гібрид ДК Експовер – до ранньостиглої.

Висновки. Таким чином, оптимальним варіантом застосування сульфату амонію за вирощування високоінтенсивних та адаптивних гібридів ріпаку озимого на сірих лісових ґрунтах в умовах нестійкого (мінливого) зволоження визначено варіант, який передбачає застосування водних розчинів сульфату амонію з їх дробним внесенням у відповідні критичні періоди росту і розвитку рослин ріпаку озимого, який передбачає наступну технологічну схему – загальна норма добрив $N_{120}P_{90}K_{90}$ з наступним розподілом: P_{90} (суперфосфат подвійний) + K_{90} (калій хлористий) – під основний обробіток + N_{10} (аміачна селітра) – під передпосівний обробіток + N_5 (водний розчин 1,67 % сульфату амонію) у фазу 4 листки (ВВСН 14)) + N_5 (водний розчин 1,67 % сульфату амонію) у фазу 6–7 листка (ВВСН 16)) + N_{40} (аміачна селітра) – на початку відновлення вегетації (ВВСН

20-22) + N_{10} (водний розчин 2,85 % сульфату амонію) у фазу початку росту головного пагона (ВВСН 29-30)) + N_{35} (аміачна селітра) – у період активного росту бокових пагонів (ВВСН 40-42) + N_{10} (водний розчин 2,85 % сульфату амонію) у фазу початку бутонізації (ВВСН 50-51)) + N_5 (водний розчин 1,67 % сульфату амонію) у фазу середини цвітіння (ВВСН 62-63)).

Застосування такого варіанта удобрення дозволяє отримати урожай гібридів ріпаку озимого на рівні 4,61 т/га при олійності насіння 46,90 %, що на 0,89 т/га та 1,91 % вище, ніж на контролі без застосування сірки.

Для варіанта традиційного внесення сульфату амонію у гранульованій формі перевагу слід віддавати варіанту з розподілом не менше 30–40 % внесення у передпосівний період для оптимізації осіннього періоду вегетації рослин ріпаку озимого, а решту у період початку відновлення його весняної вегетації.

Список використаної літератури

1. Агрометеорологія : навчальний посібник / А. М. Польовий та ін. Миколаїв, 2019. 436 с.
2. Гарбар Л. А., Яцишина Т. П., Самоліук О. П. Вплив удобрення на перезимівлю ріпаку озимого. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2018. № 1. С. 74–77. <https://www.pdau.edu.ua/sites/default/files/visnyk/2018/01/14.pdf>.
3. ДСТУ 4138–2002. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначання якості. К. : Держспоживстандарт України, 2003. 173 с.
4. Забарний О. С., Дем'янюк О. С. Оцінка стану та перспективи розвитку ріпаківництва в Україні й світі. *Агроекологічний журнал*. 2023. № 2. С. 83–90. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2023.283700>.
5. Кирнасівська Н. В., Васалатій Н. В. Агрокліматичні умови формування олії в насінні озимого ріпаку в степу України. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2019. № 3 (54). С. 116–117.
6. Курач О. В. Вплив систем удобрення на продуктивність ріпаку озимого. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН*. 2022. № 32. Р. 63–72. https://bulletin.imk.zp.ua/pdf/2022/32/Kurach_32.pdf.
7. Лихочвор В. В., Проць Р. Р. Ріпак. Львів : НВФ «Українські технології», 2005. 88 с.
8. Лісовал А. П. Методи агрохімічних досліджень. Київ : НАУ. 2021. 190 с.

References

1. Agrometeorology: a textbook / A. M. Poliovyi et al. Mykolaiv, 2019. 436 p.
2. Harbar L. A., Yatsyshyna T. P., Samoliuk O. P. The effect of fertilization on the overwintering of winter rapeseed. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*. 2018. No. 1. P. 74–77. <https://www.pdau.edu.ua/sites/default/files/visnyk/2018/01/14.pdf>.
3. DSTU 4138–2002. Seeds of agricultural crops. Methods for determining quality. K. : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2003. 173 p.
4. Zabarnyi O. S., Demianiuk O. S. Assessment of the state and prospects for the development of rapeseed farming in Ukraine and the world. *Ahroekologichnyi zhurnal*. 2023. No. 2. P. 83–90. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2023.283700>.
5. Kyrnasivska N. V., Vasalatii N. V. Agroclimatic conditions of oil formation in winter rapeseed in the steppe of Ukraine. *Hidrologiia, hidrokhimiia i hidroekologhiia*. 2019. No. 3 (54). P. 116–117.
6. Kurach O. V. The influence of fertilization systems on the productivity of winter rapeseed. *Naukovo-tekhnichnyi biuletyn Instytutu oliinykh kultur NAAN*. 2022. No. 32. P. 63–72. https://bulletin.imk.zp.ua/pdf/2022/32/Kurach_32.pdf.
7. Lykhochvor V. V., Prots R. R. Turnip. Lviv : NVF «Ukrainski tekhnolohii», 2005. 88 p.
8. Lisoval A. P. Methods of agrochemical research Kyiv : NAU. 2021. 190 p.

9. Лопушняк В. Динаміка рухомих форм сірки у темно-сірому опідзоленому ґрунті під впливом різних систем удобрення. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агрономія*. 2013. № 17 (1). С. 154–157.

10. Любар В. Основні стратегії та тактика весняного удобрення озимого ріпаку. *Зерно*. 2016. № 2. С. 102–104.

11. Методика Державного сортовипробування сільськогосподарських культур. К. : Алефа, 2000. 144 с.

12. Методика проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні. Методи визначення показників якості продукції рослинництва / За ред. С. О. Ткачик ; 3-тє вид., випр. і доп. Вінниця : ФОП Корзун Д. Ю., 2016. 159 с. <https://sops.gov.ua/uploads/page/5b7e67fb8d4b9.pdf>.

13. Радзіцька Г. Як покращити зимостійкість озимого ріпаку. *Агроном*. 2018. № 4. С. 80–83.

14. Савчук Ю. М., Антоненко О. Ф. Залежність урожайності та посівних якостей насіння ріпаку озимого від сортів та технології вирощування в умовах правобережного лісостепу України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2019. № 2. С. 20–27.

15. Сайко В. Ф. Особливості проведення досліджень з хрестоцвітими олійними культурами. Київ, 2011. 76 с.

16. Стельмах О., Григорів Я., Кифорук І. Продуктивність сортів ріпаку озимого за різних варіантів удобрення. *Молодий вчений*. 2019. Вип. 7. № 71. Р. 169–174. <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2019-7-71-35>.

17. Цищора Я. Г. Ступінь полеглості агрофітоценозу редьки олійної залежно від параметрів його формування в умовах Правобережного Лісостепу України. *Сільське господарство та лісівництво*. 2018. Вип. 10. № 3. С. 84–97.

18. Чехова І. В. Формування та розвиток ринку олійних культур: теорія, методологія, практика : монографія. Київ : Аграрна наука, 2021. 144 с. http://imk.zp.ua/images/doc/chehova_2021_monografia.pdf.

19. Agronomic Effectiveness of Granular Nitrogen/Phosphorus Fertilizers Containing Elemental Sulfur with and without Ammonium Sulfate: A Review / S. H. Chien et al. *Agronomy Journal*. 2016. Vol. 108. P. 1203–1213. <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2134/agronj2015.0276>.

20. Baltas E. Spatial Distribution of Climatic Indices in northern Greece. *Meteorological Applications*. 2007. Vol. 14. P. 69–78.

21. Barczak B., Skinder Z., Piotrowski R. Sulphur as a factor that affects nitrogen effectiveness in spring rapeseed agrotechnics. Part II. Yield of seeds and protein. *Acta Scientiarum Polonorum Agricultura*. 2016. Vol. 15. № 4. P. 3–14.

9. Lopushniak V. Dynamics of mobile forms of sulfur in dark gray podzolized soil under the influence of different fertilization systems. *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu: ahronomiia*. 2013. No. 17 (1). P. 154–157.

10. Liubar V. Basic strategies and tactics for spring fertilization of winter rapeseed. *Zerno*. 2016. No. 2. P. 102–104.

11. Methodology of State Variety Testing of Agricultural Crops. K. : Alefa, 2000. 144 p.

12. Methodology for conducting qualification examination of plant varieties for suitability for distribution in Ukraine. Methods for determining quality indicators of plant products / Za red. S. O. Tkachyk ; 3-tie vyd., vypr. i dop. Vinnytsia : FOP Korzun D. Yu., 2016. 159 p.

13. Radzitska H. How to improve the winter hardiness of winter rapeseed. *Ahronom*. 2018. No. 4. P. 80–83.

14. Savchuk Yu. M., Antonenko O. F. Dependence of yield and sowing qualities of winter rapeseed on varieties and growing technology in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*. 2019. No. 2. P. 20–27.

15. Saiko V. F. Peculiarities of conducting research with cruciferous oilseed crops. Kyiv, 2011. 76 p.

16. Stelmakh O., Hryhoriv Ya., Kyforuk I. Productivity of winter rapeseed varieties under different fertilization options. *Molodyi vchenyi*. 2019. Vol. 7. No. 71. P. 169–174. <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2019-7-71-35>.

17. Tsytsiura Ya. H. The degree of subsidence of the agrophytocenosis of oilseed radish depending on the parameters of its formation in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Sil'ske hospodarstvo ta lisivnytstvo*. 2018. Vol. 10. No. 3. P. 84–97.

18. Chekhova I. V. Formation and development of the oilseed market: theory, methodology, practice: monograph. Kyiv : Ahrarna nauka, 2021. 144 p. http://imk.zp.ua/images/doc/chehova_2021_monografiya.pdf.

19. Agronomic Effectiveness of Granular Nitrogen/Phosphorus Fertilizers Containing Elemental Sulfur with and without Ammonium Sulfate: A Review / S. H. Chien et al. *Agronomy Journal*. 2016. Vol. 108. P. 1203–1213. <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2134/agronj2015.0276>.

20. Baltas E. Spatial Distribution of Climatic Indices in northern Greece. *Meteorological Applications*. 2007. Vol. 14. P. 69–78.

21. Barczak B., Skinder Z., Piotrowski R. Sulphur as a factor that affects nitrogen effectiveness in spring rapeseed agrotechnics. Part II. Yield of seeds and protein. *Acta Scientiarum Polonorum Agricultura*. 2016. Vol. 15. № 4. P. 3–14.

22. Distribution of sulfur within oilseed rape leaves in response to sulfur deficiency during vegetative

22. Distribution of sulfur within oilseed rape leaves in response to sulfur deficiency during vegetative growth / M. M. A. Blake-Kalff et al. *Plant Physiology*. 1998. Vol. 118. P. 1337–1344. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC34749/>.
23. Do nitrogen-and sulphur-remobilization-related parameters measured at the onset of the reproductive stage provide early indicators to adjust N and S fertilization in oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown under N-and/or S-limiting supplies? / Y. Akmouche et al. *Planta*. 2019. Vol. 250. P. 2047–2062. <https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/98zeDvx4/>.
24. Effect of Different Doses of Sulfur on Growth and Yield of Rapeseed (*Brassica campestris* var. Lumle Tori) / D. Pokhrel et al. *AgroEnvironmental Sustainability*. 2023. Vol. 1. № 2. P. 172–179. DOI: 10.59983/s20230102010.
25. Effect of Timing of Sulfur Fertilizer Application on Growth and Yield of Rapeseed / A. Ahmad et al. *Journal of Plant Nutrition*. 2005. Vol. 28. № 6. P. 1049–1059. DOI: 10.1081/PLN-200058905.
26. Effects of various levels of sulfur and phosphorus fertilizers on the growth and seed yield of canola (*Brassica napus* L.) / A. A. Raza et al. *Journal of Agriculture Environment & Food Security*. 2021. Vol. 2. P. 1–6.
27. Experimental Agrometeorology: A Practical Manual / A. Latief et al. Cham : Springer International Publishing, 2017. 159 p. https://www.researchgate.net/profile/Drlatief-Ahmad/publication/321535663_Measurement_of_Atmospheric_Pressure/links/5b75668892851ca6506464c5/Measurement-of-Atmospheric-Pressure.pdf.
28. Exploring the influence of sulfur on the growth and yield of mustard (*Brassica juncea*) in the Thal region. DYSONA / Q. A. Hashmi et al. *Applied Science*. 2024. Vol. 5. No 1. P. 13–19. DOI: 10.30493/DAS.2023.425014.
29. Falk K. L., Tokuhisa J. G., Gershenzon J. The effect of sulfur nutrition on plant glucosinolate content: Physiology and molecular mechanisms. *Plant Biology*. 2007. Vol. 9. P. 573–581. DOI: 10.1055/s-2007-965431.
30. Grant C. A., Mahli S. S., Karamanos R. E. Sulfur management for rapeseed. *Field Crops Research*. 2012. Vol. 128. P. 119–128. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.12.018>.
31. Gugała M., Sikorska A., & Zarzecka K. The Effect of Fertilization with Sulphur, Boron, and Amino Acids on the Content of Glucosinolate in Winter Rape Seeds. *Agronomy*. 2020. Vol. 10 (4). 519. <https://doi.org/10.3390/agronomy10040519>.
32. Haraga, L.-C., Ion, V., Puiu, I. Effects of different sulphur rates and row spacing on oilseed rape. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*. 2023. Vol. LXVI. № 2. P. 228–236. https://agronomyjournal.usamv.ro/pdf/2023/issue_2/Art29.pdf.
33. Hawkesford M. J., De Kok L. J. Managing sulphur metabolism in plants. *Plant, Cell & Environment*. 2006. Vol. 29. № 3. P. 382–395. DOI: 10.1111/j.1365-3040.2005.01470.x.
- growth / M. M. A. Blake-Kalff et al. *Plant Physiology*. 1998. Vol. 118. P. 1337–1344. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC34749/>.
23. Do nitrogen-and sulphur-remobilization-related parameters measured at the onset of the reproductive stage provide early indicators to adjust N and S fertilization in oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown under N-and/or S-limiting supplies? / Y. Akmouche et al. *Planta*. 2019. Vol. 250. P. 2047–2062. <https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/98zeDvx4/>.
24. Effect of Different Doses of Sulfur on Growth and Yield of Rapeseed (*Brassica campestris* var. Lumle Tori) / D. Pokhrel et al. *AgroEnvironmental Sustainability*. 2023. Vol. 1. № 2. P. 172–179. DOI: 10.59983/s20230102010.
25. Effect of Timing of Sulfur Fertilizer Application on Growth and Yield of Rapeseed / A. Ahmad et al. *Journal of Plant Nutrition*. 2005. Vol. 28. № 6. P. 1049–1059. DOI: 10.1081/PLN-200058905.
26. Effects of various levels of sulfur and phosphorus fertilizers on the growth and seed yield of canola (*Brassica napus* L.) / A. A. Raza et al. *Journal of Agriculture Environment & Food Security*. 2021. Vol. 2. P. 1–6.
27. Experimental Agrometeorology: A Practical Manual / A. Latief et al. Cham : Springer International Publishing, 2017. 159 p. https://www.researchgate.net/profile/Drlatief-Ahmad/publication/321535663_Measurement_of_Atmospheric_Pressure/links/5b75668892851ca6506464c5/Measurement-of-Atmospheric-Pressure.pdf.
28. Exploring the influence of sulfur on the growth and yield of mustard (*Brassica juncea*) in the Thal region. DYSONA / Q. A. Hashmi et al. *Applied Science*. 2024. Vol. 5. No 1. P. 13–19. DOI: 10.30493/DAS.2023.425014.
29. Falk K. L., Tokuhisa J. G., Gershenzon J. The effect of sulfur nutrition on plant glucosinolate content: Physiology and molecular mechanisms. *Plant Biology*. 2007. Vol. 9. P. 573–581. DOI: 10.1055/s-2007-965431.
30. Grant C. A., Mahli S. S., Karamanos R. E. Sulfur management for rapeseed. *Field Crops Research*. 2012. Vol. 128. P. 119–128. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.12.018>.
31. Gugała M., Sikorska A., & Zarzecka K. The Effect of Fertilization with Sulphur, Boron, and Amino Acids on the Content of Glucosinolate in Winter Rape Seeds. *Agronomy*. 2020. Vol. 10 (4). 519. <https://doi.org/10.3390/agronomy10040519>.
32. Haraga, L.-C., Ion, V., Puiu, I. Effects of different sulphur rates and row spacing on oilseed rape. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*. 2023. Vol. LXVI. № 2. P. 228–236. https://agronomyjournal.usamv.ro/pdf/2023/issue_2/Art29.pdf.
33. Hawkesford M. J., De Kok L. J. Managing sulphur metabolism in plants. *Plant, Cell & Environment*. 2006. Vol. 29. № 3. P. 382–395. DOI: 10.1111/j.1365-3040.2005.01470.x.

2006. Vol. 29. № 3. P. 382–395. DOI: 10.1111/j.1365-3040.2005.01470.x.

34. Improving agronomic effectiveness of elemental sulfur to increase productivity in sulfur-deficient soils / C. Boubakry et al. *Agronomy Journal*. 2023. Vol. 115. № 6. P. 3131–3143. <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/agj2.21458>.

35. Jankowski K., Budzyński W., Szymanowski A. Effect of sulfur on the quality of winter rape seeds. *Journal of Elementology*. 2008. Vol. 13. P. 521–534. https://www.researchgate.net/publication/282808488_Effect_of_sulfur_on_the_quality_of_winter_rape_seeds.

36. Jarecki W., Korczyk-Szabó J., Macák M. Effect of Nitrogen and Sulphur Fertilization on Winter Oilseed Rape Yield. *Nitrogen*. 2024. Vol. 5. P. 1001–1014. <https://doi.org/10.3390/nitrogen5040064>.

37. Kulczycki G. Chapter Three – The effect of elemental sulfur fertilization on plant yields and soil properties. *Advances in Agronomy*. 2021. Vol. 167. P. 105–182. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2020.12.003>.

38. Leaves play a central role in the adaptation of nitrogen and sulfur metabolism to ammonium nutrition in oilseed rape (*Brassica napus*) / I. Coletto et al. *BMC Plant Biology*. 2017. Vol. 17. 157. <https://link.springer.com/article/10.1186/s12870-017-1100-9>.

39. Losak T. Effects of nitrogen and sulphur nutrition on seed yields and oil content in winter rape. *Acta agraria et silvestria: Series silvestris*. 2003. Vol. 40. P. 265–270.

40. Malhi S. S., Schoenau J. J., Grant C. A. A review of sulphur fertilizer management for optimum yield and quality of canola in the Canadian Great Plains. *Canadian Journal of Plant Science*. 2005. Vol. 85. P. 297–307. <https://doi.org/10.4141/P04-140>.

41. Meier U. Growth stages of mono- and dicotyledonous plants. BBCH Monograph. 2001. 158 p.

42. Namdari A., Baghbani- Arani A., Adavi Z. The Interaction of Combined Application of the Sulfur and Nitrogen on the Growth Characteristics and Yield of Rapeseed Under Rainfed Conditions. *Journal of Crop Production and Processing*. 2024. Vol. 14. Issue 4. P. 59–74. <https://agris.fao.org/search/en/providers/122436/records/682f24d6d0cf3796e6212792>.

43. Nawab A., Anjum M. M., Afridi M. Z. Effect of Ammonium Sulphate Foliar Spray on Grain Yield and Yield Quality of Canola. *Austin Food Sciences*. 2016. Vol. 1. Issue 6. 1026. <https://austinpublishinggroup.com/food-sciences/fulltext/afs-v1-id1026.pdf>.

44. Oil yields of canola are affected by the N and S levels and application methods under rainfed conditions / A. Janet al. *Sarhad Journal of Agriculture*. 2008. Vol. 24. P. 1–10.

45. Podleśna A. The effect of soil and foliar application of sulfur on the yield and mineral composition of winter oilseed rape plants. *Annales UMCS Agricultural*. 2009. Vol. 64. P. 68–75.

34. Improving agronomic effectiveness of elemental sulfur to increase productivity in sulfur-deficient soils / C. Boubakry et al. *Agronomy Journal*. 2023. Vol. 115. № 6. P. 3131–3143. <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/agj2.21458>.

35. Jankowski K., Budzyński W., Szymanowski A. Effect of sulfur on the quality of winter rape seeds. *Journal of Elementology*. 2008. Vol. 13. P. 521–534. https://www.researchgate.net/publication/282808488_Effect_of_sulfur_on_the_quality_of_winter_rape_seeds.

36. Jarecki W., Korczyk-Szabó J., Macák M. Effect of Nitrogen and Sulphur Fertilization on Winter Oilseed Rape Yield. *Nitrogen*. 2024. Vol. 5. P. 1001–1014. <https://doi.org/10.3390/nitrogen5040064>.

37. Kulczycki G. Chapter Three – The effect of elemental sulfur fertilization on plant yields and soil properties. *Advances in Agronomy*. 2021. Vol. 167. P. 105–182. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2020.12.003>.

38. Leaves play a central role in the adaptation of nitrogen and sulfur metabolism to ammonium nutrition in oilseed rape (*Brassica napus*) / I. Coletto et al. *BMC Plant Biology*. 2017. Vol. 17. 157. <https://link.springer.com/article/10.1186/s12870-017-1100-9>.

39. Losak T. Effects of nitrogen and sulphur nutrition on seed yields and oil content in winter rape. *Acta agraria et silvestria: Series silvestris*. 2003. Vol. 40. P. 265–270.

40. Malhi S. S., Schoenau J. J., Grant C. A. A review of sulphur fertilizer management for optimum yield and quality of canola in the Canadian Great Plains. *Canadian Journal of Plant Science*. 2005. Vol. 85. P. 297–307. <https://doi.org/10.4141/P04-140>.

41. Meier U. Growth stages of mono- and dicotyledonous plants. BBCH Monograph. 2001. 158 p.

42. Namdari A., Baghbani- Arani A., Adavi Z. The Interaction of Combined Application of the Sulfur and Nitrogen on the Growth Characteristics and Yield of Rapeseed Under Rainfed Conditions. *Journal of Crop Production and Processing*. 2024. Vol. 14. Issue 4. P. 59–74. <https://agris.fao.org/search/en/providers/122436/record/s/682f24d6d0cf3796e6212792>.

43. Nawab A., Anjum M. M., Afridi M. Z. Effect of Ammonium Sulphate Foliar Spray on Grain Yield and Yield Quality of Canola. *Austin Food Sciences*. 2016. Vol. 1. Issue 6. 1026. <https://austinpublishinggroup.com/food-sciences/fulltext/afs-v1-id1026.pdf>.

44. Oil yields of canola are affected by the N and S levels and application methods under rainfed conditions / A. Janet al. *Sarhad Journal of Agriculture*. 2008. Vol. 24. P. 1–10.

45. Podleśna A. The effect of soil and foliar application of sulfur on the yield and mineral composition of winter oilseed rape plants. *Annales UMCS Agricultural*. 2009. Vol. 64. P. 68–75.

46. Rameeh V., Niakan M., Mohammadi M. H. Effects of sulphur on the yield, yield component

46. Rameeh V., Niakan M., Mohammadi M. H. Effects of sulphur on the yield, yield component characters and oil content of oilseed rape. *Journal of Agricultural Sciences (Belgrade)*. 2021. Vol. 66. No. 1. P. 17–25. <https://doi.org/10.2298/JAS2101017R>.
47. Rapeseed (*Brassica napus*): Processing, Utilization, and Genetic Improvement / N. Raboanatahiry et al. *Agronomy*. 2021. Vol. 11. No. 9. 1776. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091776>.
48. Seed Yield Components and Seed Quality of Oilseed Rape are Impacted by Sulfur Fertilization and its Interactions with Nitrogen Fertilization / E. Poisson et al. *Frontiers in Plant Science*. 2019. Vol. 10. 458. DOI: 10.3389/fpls.2019.00458.
49. Sensitivity analyses for improving sulfur management strategies in winter oilseed rape / E. Poisson et al. *PLoS ONE*. 2018. Vol. 13. e0204376. <https://pdfs.semanticscholar.org/75ec/d2fd343a663a73af0fb93a2bf408ed0f510b.pdf>.
50. Sienkiewicz-Cholewa U., Kieloch R. Effect of sulphur and micronutrients fertilization on yield and fat content in winter rape seeds (*Brassica napus* L.). *Plant, Soil and Environment*. 2015. Vol. 61 (4). P. 164–170. DOI: 10.17221/24/2015-PSE.
51. Snecdecor, G. W., Cochran, W. G. Statistical Methods, 8th Edition. Wiley-Blackwell. 1991. 524 p.
52. Spatial Distribution and Comparison of Aridity Indices in Extremadura, Southwestern Spain / F. J. Moral et al. *Theoretical and Applied Climatology*. 2016. Vol. 126. P. 801–814. DOI: 10.1007/s00704-015-1615-7.
53. Stepaniuk M., Głowacka A. Yield of winter oilseed rape (*Brassica napus* L. var. *napus*) in a short-term monoculture and the macronutrient accumulation in relation to the rate and method of sulphur application. *Agronomy*. 2021. Vol. 12 (1). 68. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010068>.
54. Sulfur-mediated transformation, export and mineral complexation of organic and inorganic C, N, P and Si in dryland soils / X. Gao et al. *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15. 9850. <https://www.nature.com/articles/s41598-025-94920-3>.
55. Sulfur uptake and remobilization are differentially affected by N deficiency in winter oilseed rape cultivars / L. Wang et al. *Plant Nutrition*. 2017. Vol. 40. P. 524–531. <http://dx.doi.org/10.1080/01904167.2016.1245324>.
56. Sulphur application improves the growth, seed yield and oil quality of canola / Q. Rehmanuh et al. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2013. Vol. 35. P. 2999–3006. DOI: 10.1007/s11738-013-1331-9.
57. The Global Assessment of Oilseed Brassica Crop Species Yield, Yield Stability and the Underlying Genetics / J. D. Zandberg et al. *Plants (Basel)*. 2022. Vol. 11 (20). 2740. <https://doi.org/10.3390/plants11202740>.
58. The impact of sulfate restriction seed yield and quality of winter oil seed rape depends on the ability to remobilize sulfate from vegetative tissues to reproductive organs / A. Girondé et al. *Frontiers in Plant Science*. 2014. Vol. 5. 695. DOI: 10.3389/fpls.2014.00695.
59. The Rapeseed Potential in Poland and Germany in the Context of Production, Legislation, and Intellectual characters and oil content of oilseed rape. *Journal of Agricultural Sciences (Belgrade)*. 2021. Vol. 66. No. 1. P. 17–25. <https://doi.org/10.2298/JAS2101017R>.
47. Rapeseed (*Brassica napus*): Processing, Utilization, and Genetic Improvement / N. Raboanatahiry et al. *Agronomy*. 2021. Vol. 11. No. 9. 1776. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091776>.
48. Seed Yield Components and Seed Quality of Oilseed Rape are Impacted by Sulfur Fertilization and its Interactions with Nitrogen Fertilization / E. Poisson et al. *Frontiers in Plant Science*. 2019. Vol. 10. 458. DOI: 10.3389/fpls.2019.00458.
49. Sensitivity analyses for improving sulfur management strategies in winter oilseed rape / E. Poisson et al. *PLoS ONE*. 2018. Vol. 13. e0204376. <https://pdfs.semanticscholar.org/75ec/d2fd343a663a73af0fb93a2bf408ed0f510b.pdf>.
50. Sienkiewicz-Cholewa U., Kieloch R. Effect of sulphur and micronutrients fertilization on yield and fat content in winter rape seeds (*Brassica napus* L.). *Plant, Soil and Environment*. 2015. Vol. 61 (4). P. 164–170. DOI: 10.17221/24/2015-PSE.
51. Snecdecor, G. W., Cochran, W. G. Statistical Methods, 8th Edition. Wiley-Blackwell. 1991. 524 p.
52. Spatial Distribution and Comparison of Aridity Indices in Extremadura, Southwestern Spain / F. J. Moral et al. *Theoretical and Applied Climatology*. 2016. Vol. 126. P. 801–814. DOI: 10.1007/s00704-015-1615-7.
53. Stepaniuk M., Głowacka A. Yield of winter oilseed rape (*Brassica napus* L. var. *napus*) in a short-term monoculture and the macronutrient accumulation in relation to the rate and method of sulphur application. *Agronomy*. 2021. Vol. 12 (1). 68. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010068>.
54. Sulfur-mediated transformation, export and mineral complexation of organic and inorganic C, N, P and Si in dryland soils / X. Gao et al. *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15. 9850. <https://www.nature.com/articles/s41598-025-94920-3>.
55. Sulfur uptake and remobilization are differentially affected by N deficiency in winter oilseed rape cultivars / L. Wang et al. *Plant Nutrition*. 2017. Vol. 40. P. 524–531. <http://dx.doi.org/10.1080/01904167.2016.1245324>.
56. Sulphur application improves the growth, seed yield and oil quality of canola / Q. Rehmanuh et al. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2013. Vol. 35. P. 2999–3006. DOI: 10.1007/s11738-013-1331-9.
57. The Global Assessment of Oilseed Brassica Crop Species Yield, Yield Stability and the Underlying Genetics / J. D. Zandberg et al. *Plants (Basel)*. 2022. Vol. 11 (20). 2740. <https://doi.org/10.3390/plants11202740>.
58. The impact of sulfate restriction seed yield and quality of winter oil seed rape depends on the ability to remobilize sulfate from vegetative tissues to reproductive organs / A. Girondé et al. *Frontiers in Plant Science*. 2014. Vol. 5. 695. DOI: 10.3389/fpls.2014.00695.

Property Rights / E. Woźniak et al. *Frontiers in Plant Science*. 2019. Vol. 10. 1423. DOI: 10.3389/fpls.2019.01423.

60. Tian C., Zhou X., Liu Q. Increasing yield, quality and profitability of winter oilseed rape (*Brassica napus*) under combinations of nutrient levels in fertiliser and planting density. *Crop and Pasture Science*. 2020. Vol. 71 (12). P. 1010–1019. DOI: 10.1071/CP20328.

61. Tsytsiura Y. H. Evaluation of the efficiency of oil radish agrofitocenosis construction by the factor of reproductive effort. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2019. Vol. 25. No. 6. P. 1161–1174. <https://socrates.vsau.org/repository/getfile.php/23058.pdf>.

62. Varényiová M., Ducsay L., Ryant, P. Sulphur Nutrition and its Effect on Yield and Oil Content of Oilseed Rape (*Brassica Napus* L.). *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2017. Vol. 65. No. 2. P. 555–562. DOI: 10.11118/actaun201765020555.

63. Walker K.C., Booth E.J. Sulphur Nutrition and Oilseed Quality. In: Abrol, Y.P., Ahmad, A. (eds) *Sulphur in Plants*. Springer, Dordrecht. 2003. P. 323–339. DOI: 10.1007/978-94-017-0289-8_18.

64. Wenda-Piesik A., Hoppe S. Evaluation of hybrid and population cultivars on standard and high-input technology in winter oilseed rape. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science*. 2018. Vol. 68. P. 678–689. <https://doi.org/10.1080/09064710.2018.1460864>.

65. Wielebski F., Wójtowicz M., Liersch A. Response of new forms of winter oilseed rape with modified fatty acid composition to nitrogen and sulfur fertilization. *Journal of Plant Nutrition*. 2022. Vol. 45. P. 2360–2379. DOI: 10.1080/01904167.2022.2027974.

66. Wittkop B., Snowdon R., Friedt W. Status and perspectives of breeding for enhanced yield and quality of oilseed crops for Europe. *Euphytica*. 2009. 170. DOI: 10.1007/s10681-009-9940-5.

67. Wu W., Shah F., Ma B. L. Understanding of crop lodging and agronomic strategies to improve the resilience of rapeseed production to climate change. *Crop and Environment*. 2022. Vol. 1. No. 2. P. 133–144. <https://doi.org/10.1016/j.crope.2022.05.005>.

68. Yasari E., Patwardhan A. M. Physiological analysis of the growth and development of canola (*Brassica napus* L.). *Asian Journal of Plant Sciences*. 2006. Vol. 5. No. 5. P. 745–752.

69. Yield and quality of winter oilseed rape in response to different systems of foliar fertilization / K. J. Jankowski et al. *Journal of Elementology*. 2016. Vol. 4. P. 1017–1027. DOI: 10.5601/jelem.2016.21.1.1108.

70. Zheng Q., Liu K. Worldwide rapeseed (*Brassica napus* L.) research: A bibliometric analysis during 2011–2021. *Oil Crop Science*. 2022. Vol. 7. No. 4. P. 157–165. DOI: 10.1016/j.ocsci.2022.11.004.

59. The Rapeseed Potential in Poland and Germany in the Context of Production, Legislation, and Intellectual Property Rights / E. Woźniak et al. *Frontiers in Plant Science*. 2019. Vol. 10. 1423. DOI: 10.3389/fpls.2019.01423.

60. Tian C., Zhou X., Liu Q. Increasing yield, quality and profitability of winter oilseed rape (*Brassica napus*) under combinations of nutrient levels in fertiliser and planting density. *Crop and Pasture Science*. 2020. Vol. 71 (12). P. 1010–1019. DOI: 10.1071/CP20328.

61. Tsytsiura Y. H. Evaluation of the efficiency of oil radish agrofitocenosis construction by the factor of reproductive effort. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2019. Vol. 25. No. 6. P. 1161–1174. <https://socrates.vsau.org/repository/getfile.php/23058.pdf>.

62. Varényiová M., Ducsay L., Ryant, P. Sulphur Nutrition and its Effect on Yield and Oil Content of Oilseed Rape (*Brassica Napus* L.). *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2017. Vol. 65. No. 2. P. 555–562. DOI: 10.11118/actaun201765020555.

63. Walker K.C., Booth E.J. Sulphur Nutrition and Oilseed Quality. In: Abrol, Y.P., Ahmad, A. (eds) *Sulphur in Plants*. Springer, Dordrecht. 2003. P. 323–339. DOI: 10.1007/978-94-017-0289-8_18.

64. Wenda-Piesik A., Hoppe S. Evaluation of hybrid and population cultivars on standard and high-input technology in winter oilseed rape. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science*. 2018. Vol. 68. P. 678–689. <https://doi.org/10.1080/09064710.2018.1460864>.

65. Wielebski F., Wójtowicz M., Liersch A. Response of new forms of winter oilseed rape with modified fatty acid composition to nitrogen and sulfur fertilization. *Journal of Plant Nutrition*. 2022. Vol. 45. P. 2360–2379. DOI: 10.1080/01904167.2022.2027974.

66. Wittkop B., Snowdon R., Friedt W. Status and perspectives of breeding for enhanced yield and quality of oilseed crops for Europe. *Euphytica*. 2009. 170. DOI: 10.1007/s10681-009-9940-5.

67. Wu W., Shah F., Ma B. L. Understanding of crop lodging and agronomic strategies to improve the resilience of rapeseed production to climate change. *Crop and Environment*. 2022. Vol. 1. No. 2. P. 133–144. <https://doi.org/10.1016/j.crope.2022.05.005>.

68. Yasari E., Patwardhan A. M. Physiological analysis of the growth and development of canola (*Brassica napus* L.). *Asian Journal of Plant Sciences*. 2006. Vol. 5. No. 5. P. 745–752.

69. Yield and quality of winter oilseed rape in response to different systems of foliar fertilization / K. J. Jankowski et al. *Journal of Elementology*. 2016. Vol. 4. P. 1017–1027. DOI: 10.5601/jelem.2016.21.1.1108.

70. Zheng Q., Liu K. Worldwide rapeseed (*Brassica napus* L.) research: A bibliometric analysis during 2011–2021. *Oil Crop Science*. 2022. Vol. 7. No. 4. P. 157–165. DOI: 10.1016/j.ocsci.2022.11.004.