МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет агрономії
Кафедра агрохімії і ґрунтознавства

Допущено до захисту

«____» _____ 2025 р.

Зав. кафедри_____ доцент Черно О. Д.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ступеня вищої освіти магістр

УПРАВЛІННЯ ЖИВЛЕННЯМ СОЇ НА ЧОРНОЗЕМІ ОПІДЗОЛЕНОМУ ПРАВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ

Виконав – студент 2 курсу, 21 м-а групи
спеціальності 201 «Агрономія»
Чорноконь Н. О.
Керівник – Господаренко Г. М.

Умань – 2025

ЗМІСТ

ВСТУП 3
РОЗДІЛ 1. ОСОБЛИВОСТІ УПРАВЛІННЯ МІНЕРАЛЬНИМ ЖИВЛЕННЯМ СОЇ (огляд літератури) 5
РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ (особливості сорту Серенада) 13
РОЗДІЛ 3. УМОВИ І МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ДО ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ 15
3.1 Розташування досліду та характеристика ґрунту 15
3.2 Агрокліматичні характеристики регіону та погодні умови під час досліджень 16
3.3 Схема досліду та розміщення варіантів 20
3.4 Технологія вирощування сої у досліді 22
3.5 Програма та методика проведення досліджень 23
РОЗДІЛ 4. ВПЛИВ УДОБРЕННЯ ТА ІНОКУЛЯЦІЇ НА ФОРМУВАННЯ ВРОЖАЮ СОЇ 25
4.1 Зміна агрохімічних властивостей ґрунту 25
4.2 Формування симбіотичного апарату сої 27
4.3 Динаміка формування фотосинтетичного апарату 30
4.4 Забезпеченість сої азотом 33
4.5 Урожайність і якість сої 35
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ РІЗНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ СОЇ 40
РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ 43
6.1. Моделювання виробничих небезпек під час удобрення сої та збиранні врожаю 43
6.2. Охорона довкілля під час застосування добрив 46
ВИСНОВКИ 50
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 54

ВСТУП

Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи. Соя (*Glycine max* (L.) Merr.) є однією з найважливіших сільськогосподарських культур у світовому рослинництві. Вона є універсальним джерелом білка, рослинної олії та інших поживних речовин. У сучасних умовах зростання попиту на продукти з високим вмістом білка вирощування сої набуває особливого значення.

В умовах Правобережного Лісостепу з різноманітними ґрунтово-кліматичними умовами, вирощування сої є економічно виправданим. Однак для досягнення стабільно високих показників продуктивності необхідно застосовувати адаптовані технології вирощування. Оптимізація таких складових технології, як вибір сорту, інокуляція насіння, застосування добрив дозволяє враховувати особливості природних умов регіону та підвищувати ефективність вирощування сої.

Саме тому лише за оптимального поєднання різних чинників, що впливають на ріст і розвиток рослин, можна очікувати на високу продуктивність сої, максимальну реалізацію потенціалу кожного сорту. Отже, дослідження на підставі аналізу показників родючості ґрунту, реакції рослин сої на інокуляцію та удобрення, формування вмісту в насінні білка та жиру є актуальними.

Наукова новизна отриманих результатів. *Вперше: наведено* теоретичне обґрунтування оптимізації мінерального живлення сої за тривалого застосування різних систем удобрення в 4-пільній зерновій сівозміні на тлі заробляння у ґрунт нетоварної продукції, розкрито їх дію на поживний режим чорнозему опідзоленого важкосуглинковому Правобережного Лісостепу;

– показано вплив мінерального живлення на формування врожаю сої за посушливих погодних умов. Встановлено, що соя найбільше реагує на поліпшення азотного живлення, а потім – фосфорного. Поліпшення калійного живлення рослин удобренням було неефективним. Інокуляція

насіння сої азотфіксувальними бактеріями дозволяє зменшити дозу азотних добрив під сою з 60 до 30 кг/га д. р.

Удосконалено систему удобрення сої і обґрунтовано можливість зниження доз застосування мінеральних добрив.

Дістало подальший розвиток твердження можливості зниження доз добрив під сою завдяки проведенню інокуляції насіння та обґрунтовано вплив різного удобрення на формування якості насіння.

Практична цінність одержаних результатів полягає в удосконаленні системи удобрення сої на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому Правобережного Лісостепу, що передбачає оптимізацію мінерального живлення поєднанням інокуляції насіння азотфіксувальними бактеріями, внесення $P_{30}K_{30}$ під зяб і N_{30} під передпосівну культивацію.

Апробація матеріалів кваліфікаційної роботи. Основні результати та положення дипломної роботи доповідалися та обговорювалися на засіданні студентського наукового гуртка кафедри агрохімії і ґрунтознавства Уманського НУ, студентській науковій конференції приуроченій 125-річчю від дня народження професор С. С. Рубіна (Умань, 2025 р.). За матеріалами досліджень опубліковано тези доповіді: Чорноконь Н. О. Реакція сої на удобрення на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу. Зб. студ. наук. праць Уманського НУ. Факультет агрономії. Умань, 2025. С. 56–57.

РОЗДІЛ 1

ОСОБЛИВОСТІ УПРАВЛІННЯ МІНЕРАЛЬНИМ ЖИВЛЕННЯМ СОЇ (огляд літератури)

Сою вважають однією з основних білково-олійних сільськогосподарських культур. Вона бере свій початок з Азії і Далекого Сходу, де тривалий час виконувала роль не лише зернобобової культури, а й замінника м'ясних і молочних продуктів. Тут її культивують упродовж тисячоліть як основну сільськогосподарську культуру [1]. Нині соя вирощується в різних країнах світу, що охоплюють широкий спектр ґрунтово-кліматичних зон – від прохолодних регіонів Канади до тропіків Індонезії. Вона є одним із головних джерел рослинного білка та олії у світі [44].

У структурі світового виробництва білка частка рослинного складає близько 83 %, а тваринного лише 17 %. Серед ресурсів рослинного білка зернові культури складають 58,2 %; білково-олійні – 31,4; зернобобові – 3,9; плоди, овочі, цитрусові, горіхоплідні – 3,7; корене- та бульбоплоди – 2,8 % [40].

Подолання дефіциту білка як на світовому, так і вітчизняному рівнях можливо завдяки збільшенню посівних площ зернобобових культур, у тому числі сої, попит на яку постійно зростає [3].

Україна є провідним європейським виробником сої, а у світі займає восьме місце за валовим збором насіння. Площі посівів сої в Україні в основному зосереджені в південних регіонах, однак зміни погодних умов сприяють їх розширенню в центральних і навіть північних регіонах [40]. За період 2015–2023 років у низці областей України спостерігався приріст посівних площ. Найбільше їх збільшення було у Хмельницькій, Житомирській, Тернопільській, Чернігівській, Львівській і Сумській областях [44].

За вмістом жиру насіння сої перевершує інші бобові культури, а також є важливим джерелом рослинного білка, який стає все більше популярним [33].

Нині у Державному реєстрі України більш як 100 сортів сої. Більшість з них здатні забезпечувати формування врожайності 4,5–5,0 т/га. Проте за посушливих умов вона знижується до 1–2 т/га. Тому підвищення стійкості до недостатнього зволоження залишається одним з найбільш важливих показників, які необхідно поліпшити як завдяки селекції, так і складових технології вирощування [5, 29]. Значення сорту особливо зросло за умов потепління, коли підвищується температура повітря й ґрунту. Такі погодні умови супроводжуються стресовим станом рослин, значно знижується їх продуктивність, поширюються шкідники і хвороби. Все це спричиняє зниження продуктивності сої [37]. Тому агровиробники потребують адаптивних сортів та інтегрованих технологій. Це сприятиме отриманню стабільних урожаї культури навіть за несприятливих погодних умов [33]. Важливими також є дослідження з оптимізації мінерального живлення рослин завдяки дозам застосування різних видів мінеральних добрив у поєднанні з інокуляцією насіння азотфіксувальних бактерій для вирощування сої з високим вмістом білка й жиру в насінні.

Для високої продуктивності зернобобових культур, у тому числі сої, необхідно враховувати їх біологічні особливості та вимоги до мінерального живлення на всіх стадіях росту й розвитку рослин [9, 15, 17, 31].

Ефективна інтенсивна система мінерального живлення сої має бути спрямована на збалансоване забезпечення рослин макро- та мікроелементами, створення оптимальних умов для симбіотичної фіксації азоту з повітря [39]. Багатьма дослідженнями [4, 10, 8, 28] підтверджена висока ефективність застосування мікроелементів на сої. Доведено, що їхня ефективність залежить від властивостей ґрунту, взаємодії і забезпеченості живлення іншими елементами, біологічних особливостей сорту, доз, форм і строків застосування удобрювальних продуктів.

Вважається, що сучасні технології вирощування сої повинні базуватись на управлінні процесами формування високої насіннєвої продуктивності та його якісних показників. Це забезпечить максимальне використання біологічного потенціалу продуктивності культури [30, 41]. Висока продуктивність сої формується лише за умов оптимального мінерального живлення, яке залежить від властивостей ґрунту, систем застосування добрив, захисту від шкідників, хвороб і бур'янів, симбіотичної і фотосинтетичної активності та погодних умов вегетаційного періоду [6, 23, 32, 41]. Інокуляція насіння сої препаратами бульбочкових бактерій позитивно впливає на стан рослини: підвищується їх стійкість до фітопатогенних мікроорганізмів, поліпшується габітус рослин, посилюється процес фіксації атмосферного азоту та вуглекислого газу, подовжується вегетаційний період, що сприяє підвищенню продуктивності рослин [38].

Біопрепарати на основі ефективних ґрунтових мікроорганізмів набувають все більшого поширення за вирощування бобових культур [7, 17, 23, 24]. Завдяки природним механізмам біологічної фіксації молекулярного азоту та перетворення його в доступну для рослин форму, бульбочкові бактерії суттєво задовольняють потреби сільськогосподарських культур у цьому елементі живлення [48]. Це сприяє як збільшенню продуктивності рослин, так і поліпшенню родючості ґрунтів [17, 22].

Вирощування сої, особливо в нових регіонах, передбачає включення в технологію вирощування передпосівної інокуляції насіння активними і високоефективними штамами азотфіксувальних бактерій [46]. Це сприяє реалізації симбіотичного азотфіксувального потенціалу рослин, підвищенню їх стійкості до несприятливих ґрунтових і погодних умов та продуктивності [2, 16]. Тому важливо встановити вплив бактеризації насіння сої новими штамами ризобій на структурні складові її врожайності за різних умов мінерального живлення та погоди на певному підтипі ґрунту.

Інтродуковані в ризосферу мікроорганізми здатні формувати активні рослинно-бактеріальні асоціації. Це сприяє активізації процесів азотфіксації і

фотосинтезу, стимулює ріст і розвиток кореневої системи, підвищує адсорбувальну її здатність, що в цілому позитивно впливає на засвоєння рослинами поживних речовин з ґрунту [34]. Найбільше практичне значення у збагаченні ґрунтів азотом, завдяки засвоєнню його з повітря, мають бульбочкові бактерії, які фіксують молекулярний азот у симбіозі з бобовими рослинами. Представникам родів бульбочкових бактерій *Bradyrhizobium, Rhizobium Mezorhizobium, Sinorhizobium, Azorhizobium* і *Allorhizobium* окрім стану вільноіснуючих гетеротрофів, притаманна стадія симбіотичної взаємодії з бобовими рослинами. Важливе значення у взаємовідносинах мікро- та макросимбіонтів мають сорти рослини і генетичні особливості штаму. На бобово-ризобіальний симбіоз можуть негативно впливати стреси [37]. Вони впливають на рослини і бактерії, наприклад, низькі та високі температури, дефіцит і надлишок вологи, висока кислотність ґрунтового розчину. Ефективна дія бактеріальних препаратів проявляється за таких умов: температура 20–25 °С, pH ґрунтового розчину 6,5–7,5, вологість ґрунту 60–70 % повної польової вологоємності [19, 48].

Однією з найцінніших агротехнологічних особливостей сої є здатність фіксувати і накопичувати у ґрунті значну кількість атмосферного азоту (100–150 кг/га за рік [6, 7, 34], за іншими даними – до 200–350 кг/га [34, 47]. Це сприяє підвищенню родючості ґрунту та поліпшує його агрофізичні властивості [9, 43]. Введення в структуру польової сівозміни 20 % бобових дає змогу зменшити дози застосування азотних добрив на 30–40 % [15, 23]. Збільшення частки зернобобових культур у сівозміні зумовлює підвищення врожаю наступних культур [10].

Попередні дослідження [5, 23] показали, що в умовах Лісостепу високий врожай сої забезпечує поєднання вапнування, застосування мінеральних добрив і бактеріальних препаратів. В інших наукових публікаціях [46] стверджується, що бактеризація насіння без внесення мінеральних добрив забезпечує рівнозначний врожай що і з внесення азотних мінеральних добрив. Надлишкове азотне живлення рослин гальмує життєдіяльність

бульбочкових бактерій. Максимальну врожайність насіння було отримано за середніх доз мінеральних добрив у поєднанні з інокуляцією азотфіксувальними бактеріями. Проте з економічного погляду вищі показники рентабельності були отримані за оброблення насіння інокулянтами без внесення мінеральних добрив. Сумісне застосування азотфіксувальних бактерій для інокуляції насіння сої забезпечило найвищий економічний ефект [35].

Вважається [16, 37], що під бобові культури необхідно застосувати помірні дози азоту мінеральних добрив. Це сприятиме активізації бобово-ризобіальної системи. Інші вчені вважають за доцільне повністю забезпечувати рослини мінеральним азотом упродовж усієї вегетації, або, навпаки, наголошують на абсолютному виключенні азоту мінеральних добрив з технології вирощування зернобобових культур [38].

Залежно від біологічних особливостей зернобобових культур і умов вирощування фіксація атмосферного азоту змінюється в широких межах – від 10 до 300 кг/га в рік, а за несприятливих умов – взагалі відсутня [40]. Застосування високих доз азотних добрив сильно пригнічує розвиток бульбочок, внаслідок чого фіксація азоту значно знижується [40]. При визначенні доз добрив під сою важливо уточнювати існуючі методи розрахунку. Застосовувати добрива необхідно з урахуванням показників винесення та максимального засвоєння азоту [14].

У випадках, коли бульбочки не утворюються або їх недостатня кількість і вони малоактивні, застосування азотних добрив завжди підвищує врожай бобових культур. При цьому зазвичай найбільш ефективними є середні дози азоту – 90–150 кг/га. Доза внесення азоту синтетичних добрив визначається з урахуванням величини запланованої урожайності, природної родючості ґрунту та біологічних особливостей культури і сорту [40].

Вільноіснуючі бактерії роду *Rizobium* у ґрунті здатні вступати у симбіоз з бобовими рослинами, результатом якого є фіксація атмосферного азоту, але окремо від рослин процес фіксації не проходить [40]. Під час симбіозу

рослина забезпечує бактерії поживними речовинами і створює сприятливі умови для їх життєдіяльності. Бактерії у свою чергу забезпечують рослини фіксованим азотом. Реакцією рослин на симбіоз – уродливе збільшення розміру тканин кореневої системи. Бактерії можуть стати паразитами у випадку нестачі деяких елементів живлення, наприклад бору [4].

Мінеральний азот засвоюється рослинами лише на 49 %, тоді як дія біологічного азоту є пролонгованою і триває до трьох років. Упродовж цього періоду рослини засвоюють 52–64 % накопиченого азоту. Крім того, азотфіксувальні бактерії синтезують фітогормони, які стимулюють ріст рослин і підвищують ефективність засвоєння поживних речовин мінеральних добрив [42].

Симбіоз бобових культур з бульбочковими бактеріями може бути досить ефективним. Рослини можуть задовольняти потребу в азоті з повітря майже на 90 % [40].

На ґрунтах з високою родючістю після добре удобрених попередників соя не потребує внесення високих доз мінеральних добрив. На бідних ґрунтах після неудобрених попередників фосфорні та калійні добрива вносять під зяблевий обробіток ґрунту – $Р_{40–60}К_{40–60}$. При цьому застосування азотних добрив дає менший ефект, ніж створення оптимальних умов для симбіотичної азотфіксації [6, 21].

Урожайність сої значно залежить від забезпеченості рослин фосфором і калієм. Соя має високу фізіологічну активність кореневої системи, тому під основний обробіток на чорноземах опідзолених, дерново-підзолистих ґрунтах доцільно вносити фосфоритне борошно, на чорноземних ґрунтах – суперфосфат у дозі 45–60 кг/га д. р. і калійні добрива – 45 кг/га д. р. [40].

У середньому на формування 1 т насіння та відповідну кількість стебелиння соя виносить з ґрунту 70–75 кг азоту, 18–20 – $Р_2О_5$ і 20–25 кг $К_2О$. Вважається, що бобові культури на 2/3 забезпечують свої потреби в азоті завдяки фіксації його з повітря за допомогою бульбочкових бактерій. Тому створення оптимальних умов для роботи азотфіксувальних бактерій значно

зменшує потребу рослин у азоті синтетичних добрив. Але при цьому значно зростає потреба рослин сої у посиленому живленні їх фосфором і калієм. Ці елементи поліпшують умови симбіотичної азотфіксації. Також для ефективної роботи симбіотичного апарату необхідні мікроелементи, у першу чергу молібден, кобальт і бор. Молібден входить у склад ферменту нітрогенази. Він сприяє зв'язуванню азоту повітря, а бор – сприяє формуванню та розвитку судинно-провідної системи [8, 9].

За інтенсивних технологіях вирощування сої рекомендується вносити фосфорні й калійні добрива в дозі по 45–60 кг/га д. р. На малородючих землях потрібно вносити ще й азотні добрива в дозі 30 кг/га д. р. Доцільним також є внесення фосфорних добрив (10–15 кг/га д. р.) у рядки під час сівби сої. Коли холодна весна і рослини погано розвиваються, посіви сої підживлюють азотними добривами (10–15 кг/га д. р.) [15]. Мінеральні добрива внесенні безпосередньо під сою у регіонах недостатнього або нестійкого зволоження не дають високої ефективності. Фосфорні й калійні добрива за таких умовах ліпше вносити під попередник. Якщо сою висівають після удобреного гноєм попередника, то азотні добрива взагалі не рекомендується застосовувати. У регіонах із сумою річних опадів 450–500 мм восени під основний обробіток ґрунту необхідно вносити фосфорні й калійні добрива по 40–60 кг/га д. р. і навесні під час сівби – азотні по 10–15 кг/га д. р. На бідних ґрунтах для отримання запланованого врожаю доцільно вносити азотні добрива в дозі 30–40 кг/га д. р. під передпосівну культивацію [11].

Біопрепарати азотфіксувальних мікроорганізмів не лише сприяють збільшенню врожаю, а й підвищують вміст білка в насінні на 0,4–3,1 % і більше [49]. Білок, отриманий з фіксованого атмосферного азоту, має вищу якість порівняно з білком, сформованого з азоту мінеральних сполук [48]. Інокуляція насіння бульбочковими бактеріями перед сівбою підвищує врожайність сої на 0,26–0,48 т / г а . Застосування ризоторфіна забезпечує приріст урожаю на 11–22 % [26].

Накопичення білка в насінні сої значно залежить від таких чинників: агрохімічні властивості ґрунту, ґрунтові та погодні умови для симбіотичної фіксації атмосферного азоту, вологозабезпеченість рослин. Генотип сорту та район вирощування при цьому мають менший вплив. За несприятливих умов симбіотична фіксація азоту з повітря зменшується, або взагалі призупиняється. Рослини відчувають азотний дефіцит, урожайність насіння та вміст у ньому білка зменшуються [20, 47].

Отже, з проведеного огляду літератури можна зробити такі висновки:

1. Соя належить до цінних продовольчих і кормових сільськогосподарських культура. В системі її удобрення необхідно одночасно враховувати як потребу підвищення врожайності, так і поліпшення якості насіння, оскільки ця культура має велике значення для виробництва рослинного жиру та білка.

2. За оптимальних ґрунтових і погодних умов соя може вступати у симбіоз з бульбочковими бактеріями, що може сприяти засвоєнню 60–70 % азоту від загальної потреби для формування врожаю.

3. У разі застосування під сою високих доз азотних добрив розвиток бульбочкових бактерій на кореневій системі гальмується, знижується їх азотфіксувальна здатність, рослини переходять на живлення азотом з мінеральних сполук ґрунту.

4. Фосфорні та калійні добрива під сою зазвичай застосовують у дозі по 30–60 кг/га д. р. залежно від вміст у ґрунті рухомих сполук поживних речовин і рівня запланованої урожайності.

5. Для чорнозему опідзоленого Правобережного Лісостепу важливо встановити як впливають дози основних елементів живлення та їх поєднанні на ефективність симбіотичної азотфіксації та формування продуктивності сої.

РОЗДІЛ 2
ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ (особливості сорту Серенада)

У досліді вирощували сою сорту Серенада. Цей сорт сої був внесений до Державного реєстру сортів рослин України у 2021 році. Він характеризується Як інтенсивний, з високою стабільною врожайністю. Високопродуктивний, під час державного сортовипробування в Рівненському ОДЦЕСР у 2020 році урожайність становила 3,15 т/га. Рекомендується для вирощування в усіх природно-кліматичних умовах України. Сорт Серенада за сприятливих умов на богарі в зоні Степу здатний формувати урожайність насіння (за стандартної вологості 14 %) 2,1 т/га, що на 37 % вище усередненої урожайності сортів, що пройшли державну реєстрацію за п'ять попередніх років.

Основною характерною цього сорту є короткий вегетаційний період, який зазвичай становить 111–130 діб. Він також має високу стійкість до вилягання (8–9 балів), насіння майже не осипається після біологічного достигання (стійкість 8–9 балів), стійкість до посухи 7–9 балів.

Сорт сої Серенада має такі морфологічні ознаки:

• рослини мають проміжний тип росту та сплюснуту форму куща, що забезпечує високу стійкість їх до вилягання;

• за висотою рослина, залежно від умов вирощування, сягає 65–85 см. Тип росту індетермінантний. Колір гіпокотиля під час появи примордіальних листків фіолетовий. Рослини мають сіре опушення стебла та стулок бобів, колір квітки фіолетовий. Боби коричневі, прямі, насіння жовте, видовженої форми, середнього розміру, рубчик світло-коричневий, без вічка, висота кріплення нижнього бобу становить 8–15 см, тому сорт придатний для механізованого збирання;

• листки за формою ланцетні, квітки фіолетові, насіння жовте.

Сорт сої Серенада має високу стійкість до хвороб (фузаріозу, аскохітозу, переноспорозу, септоріозу та бактеріозу) (8–9 балів) і несприятливих умов вирощування.

Характеристика насіння сорту сої Серенада:

Маса 1000 насінин – 140–180 г, вирівняність насіння – 95 %, вміст білка досягає 44 %, олії – 19–23 %.

Агротехнологічні вимоги до вирощування: придатний до вирощування за традиційною. Мінімальною та нульовою технологією як на суходолі, так і за зрошення. У день сівби рекомендується оброблення насіння препаратом бульбочкових бактерій. Строки сівби звичайні для регіону вирощування (за оптимальної температури ґрунту 12 ºС. Спосіб сівби широкорядний з шириною міжрядь 45 см, або рядковий. Норма висіву – 550–600 тисяч схожих насінин на 1 га.

РОЗДІЛ 3

УМОВИ І МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ДО ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Розташування досліду та характеристика ґрунту

Польові дослідження проводились на дослідній ділянці кафедри агрохімії і ґрунтознавства Уманського національного університету. Вона розташована на північній околиці м. Умані в регіоні нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу. Стаціонарний дослід (№ 87, зареєстрований НААН України), було закладено в 2010 році. Географічні координати досліду за Гринвічем 48° 46' пн. ш. і 30° 14' сх. д.

Перед закладанням стаціонарного досліду ґрунт за прийнятою класифікацією характеризувався низьким вмістом гумусу (3,8 %), реакція ґрунтового середовища була слабокислою з показником pH_{kcl} 5,7. Поживний режим ґрунту характеризувався низьким забезпеченням азоту за вмістом його легкогідролізованих сполук. Вміст рухомих сполук фосфору в ґрунті був високим, а вміст калію – підвищеним. Ґрунт також мав середній вміст кальцію та магнію. Вміст рухомих сполук мікроелементів був таким: мангану, цинку та міді – низький, кобальту – середній (табл. 1).

За агрохімічними показниками ґрунт досліду відповідає вимогам для вирощування основних сільськогосподарських культур за умови поліпшення умов мінерального живлення рослин і вологозабезпечення. Він характеризується високою потенціальною родючістю та за умов належного рівня технології вирощування культур здатний забезпечити отримання високих і сталих урожаїв районованих сортів і гібридів сільськогосподарських культур.

За фізико-хімічними і агрохімічними властивостями ґрунт під стаціонарним дослідом має сприятливі умови для вирощування високих і

сталих урожаїв. На це необхідно звернути увагу під час проведення розрахунку доз мінеральних добрив і розроблення системи застосування добрив за участі застосування препаратів азотфіксувальних бактерій.

Таблиця 1

Агрохімічні властивості чорнозему опідзоленого важкосуглинкового стаціонарного досліду

Параметри показника		Шар ґрунту, см	
		0–20	20–40
pH_{kcl} ґрунтового розчину		5,7	5,8
Гумус, %		3,81	3,73
ЄКО, смоль/кг		27,6	27,6
Гідролітична кислотність, смоль/кг		2,78	1,86
Ступінь насиченості ЄКО основами, %		89,9	93,2
Вміст у ґрунті рухомих сполук, мг/кг	N	105	101
	P_2O_5	105,5	99,7
	K_2O	131,7	103,6
	S	5,6	4,2

3.2 Агрокліматичні характеристики регіону та погодні умови під час досліджень

Для Правобережного Лісостепу, де проводяться дослідження, характерний помірно континентальний клімат. Він характеризується нестійким зволоженням і радіаційним балансом 40–45 ккал/см^2. Кліматична середньорічна норма опадів – 400–650 мм. Проте їх розподіл упродовж року нерівномірний. За період з додатними температурами випадає 75 % річної суми опадів. При цьому для теплого періоду характерними є зливи. Сніговий покрив нетривалий, існує 60–75 діб. В окремі роки він не постійний або й взагалі відсутній.

Погодні умови, що складаються впродовж вегетаційного періоду, мають значний вплив на формування врожаю сільськогосподарських культур і

якості продукції. В умовах регіону проведення досліджень волога є одним з основних чинників, що лімітують реалізацію продуктивності сільськогосподарських культур.

Середньобагаторічна кількість опадів за даними метеостанції Умань становить 586 мм. Проте в окремі роки, а особливо вегетаційні періоди, бувають значні відхилення від цієї величини. В цілому клімат регіон характеризується недостатнім і нестійким зволоженням. Під час вегетації культур спостерігаються бездощові періоди, іноді тривалі. Інколи 2–3, а в окремі періоди 3–5 років у десятиліття посушливі. Розподіл опадів за періодами вегетації та інтенсивністю також нерівномірний.

Клімат регіону за тепловим режимом відноситься до помірно-середньо-континентального з гідротермічним коефіцієнтом 1,1–1,2. Сума активних температур 2400 на півночі та 3200 на півдні Правобережного Лісостепу. Період з середньодобовою температурою вище (+10)ºС триває впродовж 140–160 діб, а понад (+5) ºС – до 230 діб.

Всі пори року виражені досить чітко. За переходу середньодобової температури повітря через (+15) ºС настає літо. Воно характеризується високими й стійкими температурами. Середня температура літнього періоду (+19) ºС, з можливими відхиленнями в окремі роки – до (+17) та (+22) ºС. Тепла та порівняно волога погода літнього періоду позитивно впливає на вегетацію традиційних для регіону сільськогосподарських культур. В окремі роки спостерігається літня посуха. Її спричиняє тривала нестача атмосферних опадів і висока температура повітря. Це призводить до значних втрат ґрунтової вологи. Влітку можуть спостерігатися часті та інтенсивні зливові дощі [40]. Літній період зазвичай триває до середини вересня.

Стійкий перехід середньодобової температури нижче (+5) °С в зоні Лісостепу і припинення біологічної вегетації наступає 6 листопада. Напровесні відновлення вегетації і стійкий перехід середньодобової температури через (+5) °С настає 29 березня [40].

У другій половині листопада (дата стійкого переходу середньодобової

температури повітря через (0) °С) зазвичай починається зима. Вона зазвичай характеризується теплою й хмарною погодою з частими відлигами. Зимовий період у середньому триває 104–117 діб, а закінчується в першій половині березня.

Весняний період починається з підвищенням середньодобової температури повітря вище 0 °С. Зазвичай це відбувається в другій декаді березня. Найраніша дата такого переходу 28 лютого, а найпізніша – перша декада квітня. Весняний період зазвичай закінчується на початку третьої декади травня.

Перехід до літа в Правобережному Лісостепу зазвичай спостерігається на початку третьої декади травня. За багаторічними даними спостережень літній період триває 101–116 діб. Середня температура повітря влітку становить +18,2 °С. Найтепліший місяцем є липень із середньою температурою +19 °С. При цьому максимальна температура може сягати +35,5…+37,6 °С.

За літній період зазвичай випадає 233 мм опадів, що відповідає 35–40 % річної їх кількості. В окремі роки відмічаються дуже рясні дощі, а кількість опадів значно перевищує кліматичну норму (280–380 мм). Проте в окремі роки кількість опадів буває досить малою – лише 65–100 мм. За період з температурами вище +10 °С середня кількість опадів зменшується від 379 мм на півночі до 305 мм на півдні Правобережного Лісостепу. При цьому гідротермічний коефіцієнт (ГТК) також зменшується з 1,4 до 1,1.

Отже, можна зробити висновок, що в цілому кліматичні умови регіону проведення досліджень сприятливі для вирощування більшості польових сільськогосподарських культур помірного кліматичного поясу. Однак в окремі вегетаційні періоди спостерігаються несприятливі умови (низькі температури, відлиги, льодові кірки, посухи, суховії, сильні грозові дощі). Вони можуть значно впливати на реалізацію біологічної продуктивності сільськогосподарським культурам.

Погодні умови під час проведення досліджень були несприятливими для вирощування більшості сільськогосподарських культур. Спостерігали зменшення кількості опадів відносно кліматичної норми упродовж усіх місяців (табл. 2).

Таблиця 2

Погодні умови за даними метеостанції Умань у роки проведення досліджень

Показник	Місяці								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Кількість опадів, мм									
Середньо-багаторічна	38	34	36	41	52	81	68	49	61
2024 р.	29,8	14,9	89,5	56,2	41,8	56,5	17,9	17,7	4,2
Від норми, ±	-8,2	-19,1	53,5	15,2	-10,2	-24,5	-50,1	-31,3	-56,8
2025 р.	12,4	7,8	12,5	26,9	101,8	11,2	112,3	23,0	
Від норми, ±	-25,6	-26,2	-23,5	-11,1	49,2	-79,8	44,3	-27,0	
Температура повітря, ºС									
Середньо-багаторічна	-3,4	-2,3	2,5	9,7	15,4	19,0	20,9	20,1	14,5
2024 р.	-1,6	4,2	4,5	13,0	15,3	21,2	24,3	23,1	11,7
Від норми, ±	1,8	6,5	2,0	3,3	-0,1	2,2	3,4	3,0	+2,9
2025 р.	2,1	-3,9	6,7	10,3	13,1	19,3	22,4	19,7	
Від норми, ±	5,5	-1,6	4,2	0,6	-2,3	0,3	1,5	-0,4	
Відносна вологість повітря, %									
Середньо-багаторічна	86	85	82	68	64	66	67	68	73
2024 р.	84	80	76	67	57	69	60	56	62
Від норми, ±	-2	-5	-6	-1	-7	3	-7	-12	-11
2025 р.	86	74	67	61	74	63	65	63	
Від норми, ±	-	-11	-15	-7	10	-3	-2	-5	

За осінній період 2023 року випала достатня кількість опадів. Весняний період 2024 року був теплим із надмірною кількістю опадів. Упродовж червня–липня спостерігався недобір кількості опадів на рівні 74,6 мм до кліматичної норми. У поєднанні з теплою погодою це призвело до посушливих умов та зниження продуктивності сої.

У 2024 році була зафіксована досить низька вологість повітря в усі місяці. Причинами цього була мала абсолютна сума опадів упродовж року та дуже висока температура повітря.

Недостатня зволоженість поєднувалася з підвищеною температурою повітря впродовж всього року, крім травня, та пониженою відносною вологістю повітря, що призвело до посухи і негативно вплинуло на врожайність та всі показники продуктивності сої.

Отже, ґрунтово-кліматичні умови регіону у допустимих діапазонах відповідають біологічним вимогам сої. Проте для отримання високої і сталої продуктивності необхідні раціональні підходи до складових технології її вирощування, зокрема, до забезпечення рослин необхідними елементами живлення.

3.3 Схема досліду та розміщення варіантів

Експериментальну частину дослідження проводили в умовах стаціонарного польового досліду (№ 87 реєстрації НААН України) Уманського національного університету. Основа досліду – 4-пільна зернова сівозміна (пшениця озима, кукурудза, ячмінь ярий, соя) з різними системами удобрення. Дослід було закладено у 2010 році (табл. 3).

Розміщення варіантів досліду послідовне, повторення триразове. Загальна площа дослідної ділянки 110 м^2, облікова – 25 м^2. Дослід одночасно розгорнутий на чотирьох полях. Це дає змогу щорічно отримувати дані продуктивності всіх культур сівозміни.

Таблиця 3

Схема стаціонарного досліду

Варіант досліду (насиченість добривами 1 га площі сівозміни)	Удобрення	
	попередника – ячменю ярого	сої
Без добрив (контроль)	–	–
$P_{60}K_{80}$	$P_{60}K_{70}$	$P_{60}K_{60}$
$K_{80} + N_{110}$	$K_{70} + N_{70}$	$K_{60} + N_{60}$
$P_{60} + N_{110}$	$P_{60} + N_{70}$	$P_{60} + N_{60}$
$P_{30}K_{40} + N_{55}$	$P_{30}K_{35} + N_{35}$	$P_{30}K_{30} + N_{30}$
$P_{60}K_{80} + N_{110}$	$P_{60}K_{70} + N_{70}$	$P_{60}K_{60} + N_{60}$

Розміщення варіантів досліду послідовне, повторення триразове. Загальна площа дослідної ділянки 110 м^2, облікова – 25 м^2. Дослід одночасно розгорнутий на чотирьох полях. Це дає змогу щорічно отримувати дані продуктивності всіх культур сівозміни.

У досліді застосовуються такі форми мінеральних добрив: аміачна селітра, суперфосфат гранульований і калій хлористий. Фосфорні та калійні добрива вносяться під зяблевий обробіток ґрунту. Азотні добрива під сою вносили під передпосівну культивацію. Особливістю досліду є залишення на полі на добриво нетоварної частини врожаю всіх культур сівозміни (солома, стебелиння). Інокуляцію насіння сої проводили штамами азотфіксувальних бактерій, застосовуючи препарат Оптимайз 400, РК дозою 1,8 л/т насіння. Варіанти досліду з інокуляцією та без неї закладали методом розщеплених удобрених ділянок.

За виробничий контроль був варіанті досліду $N_{110}P_{60}K_{80}$, де дозу мінеральних добрив розраховано за усередненим господарським винесенням азоту, фосфору та калію культурами сівозміни. Схема досліду передбачає вивчення можливості зниження доз окремих видів мінеральних добрив і загальної норми добрив у цілому.

3.4 Технологія вирощування сої у досліді

Застосовувана технології вирощування сої полягала в оптимізації умов вирощування на всіх етапах росту та розвитку рослин. Соя є культурою великих потенційних можливостей. Проте вона вимоглива як до родючості ґрунтів, так і добре реагує на поліпшення умов мінерального живлення завдяки внесенню мінеральних добрив.

Як уже зазначалось вище, попередником сої у польовому досліді був удобрений згідно схеми досліду ячмінь ярий. Після збирання врожаю якого із залишенням подрібненої соломи на полі проводили лущення стерні дисковими лущильниками ЛДГ–5 на глибину 6–8 см.

Через два тижні згідно схеми досліду поділянково вручну вносили мінеральні добрива – суперфосфат гранульований і калій хлористий.

Оранку проводили агрегатом МТЗ–80 з ПЛН–3–35 в агрегаті з кільчасто-шпоровим котком. Глибина оранки становила 24–26 см.

Навесні, за настання фізичної стиглості ґрунту, зяб вирівнювали за допомогою шлейфборони ШБ-25, агрегатованої з трактором МТЗ–80. За підвищення температури ґрунту до 12 °С, у третій декаді квітня, проводили передпосівну культивацію на глибину загортання насіння агрегатом трактор МТЗ–80 з культиватором КПН–4 і боронами. Згідно схеми досліду під передпосівну культивацію вручну вносили аміачну селітру.

У досліді висівали сорт сої Серенада. При цьому за 1–2 години до сівби насіння вручну обробляли біопрепаратом селекційних високоефективних штамів бульбочкових бактерій (Оптимайз 400, РК) нормою 1,8 л/т насіння. Сівбу проводили агрегатом МТЗ–80 із сівалкою СЗ–3,6 з шириною міжрядь 15 см. Норма висіву насіння становила 600 тис/га. Глибина його загортання становила 4–6 см.

Після сівби поле прикочували кільчасто-шпоровими катками і до сходів культури для боротьби з бур’янами вносили ґрунтовий гербіцид Аватар, КЕ нормою 2,0 л/га. У фазу трьох листків сої проти однодольних і дводольних

бур’янів проводили обприскування посівів гербіцидом Рінес, РК нормою 1 л/га.

Збирання врожаю сої проводили у фазу повної стиглості насіння прямим комбайнуванням.

3.5 Програма та методика проведення досліджень

Згідно з вимогами ДСТУ 4287:2004 і ДСТУ ISO 11464:2007 проводили відбирання проб ґрунту та підготовку їх до аналізу. У них визначали такі показники: вмісту загального вуглецю за ДСТУ 4289:2004; pH_{KCl} – на іономірі згідно з ДСТУ ISO 10390-2007; гідролітичну кислотність – за ДСТУ 7537:2014; вміст увібраних основ – за МВВ 31–497058–007–2005; суму ввібраних основ – за ГОСТ 27821–88; ємності катіонного обміну ґрунтом і насиченості основами – ДСТУ ISO 11260-2001; вміст азоту легкогідролізованих сполук за методом Корнфілда згідно з ДСТУ 7863:2015; рухомі сполуки фосфору – вилученням їх розчином 0,5 Н оцтової кислоти з наступним фотоколориметруванням за ДСТУ 4115-2002; рухомі сполуки калію – вилученням їх розчином 0,5 Н оцтової кислоти на полуменевому фотометрі за ДСТУ 4115-2002.

На 10 рослинах у кожному варіанті досліду у двох несуміжних повтореннях визначали кількість бульбочок на кореневій системі сої.

Площа листкової поверхні визначали методом висічок.

За допомогою портативного приладу N-tester визначали забезпеченість рослин сої азотом [14].

Облік врожайності соломи сої проводили методом пробного снопа [36].

Для оцінювання впливу удобрення та показники якості насіння сої визначали вміст білка та жиру методом інфрачервоної спектроскопії за використання приладу InfratecNova. Масу 1000 насінин визначали за ДСТУ ISO 520 [25].

Економічну ефективність застосування різних систем удобрення сої, що вирощується в польовій сівозміні розраховували за загальноприйнятою

методикою, з урахуванням витрат за технологічними картами та реалізаційної ціни на насіння сої у ІІІ кварталі 2025 р.

Для статистичної обробки результатів досліджень і визначення достовірності одержаних експериментальних даних використовували дисперсійний аналіз за методикою В. О. Єщенка та ін. [27].

РОЗДІЛ 4
ВПЛИВ УДОБРЕННЯ ТА ІНОКУЛЯЦІЇ НА ФОРМУВАННЯ ВРОЖАЮ СОЇ

4.1. Зміна агрохімічних властивостей ґрунту

Значення мінеральних удобрювальних продуктів у сучасному землеробстві з погляду антропогенної еволюції ґрунтів оцінюється неоднозначно [21]. Поряд з підвищенням ефективної родючості ґрунтів, вони істотно можуть змінювати фізико-хімічні та агрохімічні їх властивості. Дослідження цих змін під впливом тривалого застосування удобрювальних продуктів у тривалих стаціонарних дослідах дозволяє визначити напрямок розвитку ґрунтоутворювальних процесів. Ці зміни за різних доз різних видів добрив і їх поєднань показані в табл. 4.

Таблиця 4

Зміна агрохімічних властивостей шару ґрунту 0–20 см під сою після тривалого (з 2010 р.) **застосування добрив**, 2024–2025 рр.

Варіант досліду	Вміст гумусу, %	pH_{KCl}	Hг, смоль/кг	S, смоль/кг	ЄКО, смоль/кг	V, %	Вміст у ґрунті рухомих сполук, мг/кг		
							$N_{легк}$	P_2O_5	K_2O
Перед закладанням досліду, 2010 р.	3,81	5,80	2,78	24,8	27,6	89,9	105	106	132
Без добрив (контроль)	3,70	5,55	2,84	24,5	27,3	89,7	96	90	124
$P_{60}K_{80}$	3,75	5,57	3,02	24,2	27,2	89,0	101	123	143
$K_{80} + N_{110}$	3,72	5,46	3,71	22,9	26,7	85,8	112	85	143
$P_{60} + N_{110}$	3,86	5,54	3,36	23,1	26,5	87,2	117	114	114
$P_{30}K_{40} + N_{55}$	3,87	5,60	3,24	22,7	25,9	87,6	109	108	137
$P_{60}K_{80} + N_{110}$	3,90	5,44	3,85	21,8	25,2	86,5	120	114	128

Як видно з проведених агрохімічних досліджень, у шарі ґрунту 0–20 см простежувалася лише тенденція незначних змін вмісту гумусу у варіантах досліду під впливом різних систем удобрення. Це пояснюється ще незначним періодом проведення польового досліду та залишенням на полі на добриво нетоварної продукції. Найбільше середньорічне зниження запасів гумусу (0,25–0,53 т/га) в шарі ґрунту 0–20 см спостерігається у варіантах досліду без внесення добрив і з внесенням $P_{60}K_{80}$ і $K_{80} + N_{110}$. Поряд з цим простежується тенденцію підкислення ґрунтового розчину на 0,1–0,3 од. pH_{KCl}, особливо за внесення високих доз азотних і калійних добрив. Це свідчить про необхідність проведення періодичного підтримувального вапнування ґрунту.

Залежно від варіанту досліду застосування мінеральних добрив підвищувало гідролітичну кислотність ґрунту до 3,02–3,85 смоль/кг (за показника перед закладанням досліду 2,78 смоль/кг). Проте ємність вбирання ґрунту під впливом удобрення майже не піддавалася змінам. Це є досить стабільним показником цього ґрунту. Ступінь насиченості основами знизився з 89,9 % до 85,8–89,7 % залежно від варіанту удобрення.

Необхідно зазначити, що ґрунт досліду має низький вміст азоту легкогідролізованих сполук навіть за внесення $P_{60}K_{80} + N_{110}$ на тлі залишеної на добриво нетоварної частини врожаю впродовж 13–14 років. Це свідчить про необхідність внесення азотних добрив у достатній кількості.

Дослідженнями встановлено, що застосування фосфорних добрив у дозі 30–60 кг д. р. на 1 га площі сівозміни дозволяє підтримувати вміст рухомих сполук фосфору у ґрунті на вихідному рівні або частково збільшувати їх вміст. У варіанті досліду $K_{80} + N_{110}$ середньорічне зниження їх вмісту становить майже 2,5 мг/кг ґрунту.

Чорнозем опідзолений важкосуглинковий має значні запаси валового калію [13], але у варіанті досліду без внесення калійних добрив за час проведення досліду пройшло істотне зниження вмісту його рухомих сполук – з 132 до 124 мг/кг ґрунту, і це на тлі значного повернення калію в ґрунт з нетоварною продукцією. Це ще раз свідчить про необхідність застосування

калійних добрив з метою компенсації його винесення з урожаями та підтримання оптимального вмісту рухомих сполук у ґрунті.

4.2 Формування симбіотичного апарату сої

Соя, як бобова культура, в симбіозі з бульбочковими бактеріями здатна засвоювати азот з атмосфери. Це одна з основних біологічних особливостей цієї культури. Потенційні розміри симбіотичної азотфіксації для зернобобових культур за створення сприятливих умов можуть сягати до 390 кг/га фіксованого азоту [40]. Якщо процес симбіотичної азотфіксації проходить ефективно, то це сприяє підвищенню врожаю рослин на 20–30 % і збільшенню вмісту білка в зерні та насінні на 2–6 % [65]. Отже, в результаті симбіозу між бактеріями і соєю підвищується не тільки урожай, але й поліпшується його якість – збільшується вміст білка, жиру, вітамінів тощо [15]. Ефективність бобово-ризобіального симбіозу залежить від того, що обидва учасники цього процесу постійно обмінюються метаболітами: рослини постачають у бульбочки продукти фотосинтезу, а бактерії експортують азот в органи і тканини макросимбіонта [34]. На думку С. Я. Коця [34], бобово-ризобіальний симбіоз однаково залежить від генотипів обох симбіонтів. Генотипом ризобій контролюється 25,7 %, а генотипом рослин – 24,4 % загального варіювання ефективності симбіозу. Під час процесу симбіотичної азотфіксації рослини забезпечуються азотом. У результаті розкладання кореневих і пожнивних решток у ґрунті накопичується 120–150 кг/га азоту. Це рівноцінно внесенню 350–450 кг/га аміачної селітри [40].

Отже, за раціонального застосування симбіотичної азотфіксації можна зменшити дози дороговартісних азотних добрив під зернобобові культури. Створення ефективного симбіотичного апарату дає можливість максимально реалізувати закладений природно та генетично обумовлений азотфіксувальний потенціал бобово-ризобіальної системи і отримати високий

урожай. Утворення бульбочок на коренях рослин починається в періодом появи перших листків, тобто з початком їх фотосинтетичної діяльності. Формування листкового апарату є одним з головних чинників у процесі утворення бульбочок, їх розвитку й життєдіяльності. Листки дають енергетичний матеріал необхідний як рослині, так і мікроорганізмам-симбіонтам [2].

Утворення та наростання маси бульбочок є показником симбіотичної діяльності бульбочкових бактерій і зернобобових рослин. Це впливає на інтенсивність фіксації атмосферного азоту з повітря. Симбіотична діяльність рослин залежить від фази їх росту й розвитку та впливу різних чинників. Однією з умов підвищення азотфіксації є специфічність взаємодії макро- та мікросимбіонтів, а саме вдале поєднання рівня мінерального живлення та штаму бульбочкових бактерій. При цьому повинні бути враховані конкретні ґрунтово-кліматичні й агротехнологічні умови, а також створені умови для ефективного функціонування бобово-ризобіального симбіозу [2, 6, 15, 41].

Проведеними дослідженнями становлено, що бульбочки на кореневій системі сої починають з’являтися після появи сходів сої на 7–10 добу. Початок їх появи співпадає з розвитком перших листків сої. У листках формується енергетичний матеріал, який використовується рослиною для майбутнього розвитку, так і для формування симбіонта. Кількість бульбочок на кореневій системі рослин сої залежала від системи застосування добрив та інокуляції насіння. Найбільше їх формувалося у фазу бутонізація–утворення бобів сої. На неінокульованих рослинах бульбочки з’являються поодинокі, тоді як інокуляція насіння значно збільшувала їх кількість (табл. 5).

Проведені дослідження, результати яких наведено в табл. 5, показують, що кількість бульбочок на кореневій системі сої істотно змінювалася залежно від фази росту та розвитку рослин, а також видів добрив, їх доз і поєднань, інокуляції насіння азотфіксувальними бактеріями. У фазу бутонізації сої на ділянках досліду, де насіння висівали без проведення інокуляції, достовірне

збільшення кількості бульбочок на кореневій системі було лише у варіантах досліду $P_{60}K_{60}$ і $P_{30}K_{30} + N_{30}$.

Таблиця 5

Вплив особливостей удобрення та інокуляції насіння на кількість бульбочок на кореневій системі сої (2024–2025 рр.), шт/рослині

Варіант досліду	Фаза росту й розвитку рослин				Фаза утворення бобів, ± до абсолютного контролю	
	Бутонізація		Утворення бобів		Удобрення	Інокуляція
	1	2	1	2		
Без добрив (контроль)	4±1	9±2	14±3	21±3	–	7
$P_{60}K_{60}$	5±1	12±3	16±4	27±4	2	11
$K_{60} + N_{60}$	3±1	8±2	12±2	20±3	–2	8
$P_{60} + N_{60}$	4±1	10±2	13±3	21±3	–1	8
$P_{30}K_{30} + N_{30}$	6±1	13±3	18±3	28±4	4	10
$P_{60}K_{60} + N_{60}$	3±1	8±2	12±3	21±3	2	8

Примітка. 1 – без інокуляції насіння, 2 – з інокуляцією.

Внесення азотних добрив у дозі 60 кг/га д. р. гальмувало утворення бульбочкових бактерій. Це також спостерігалося і у фазу утворення бобів у сої. При цьому слід звернути увагу, що у міжфазний період бутонізація–утворення бобів у сої іде інтенсивне утворення бульбочок. За цей проміжок часу їх кількість збільшується у кілька разів.

Підвищенню кількості бульбочок на кореневій системі сої в обидва строки визначення сприяла інокуляції насіння азотфіксувальними бактеріями. Так, у фазу бутонізації рослин цей агрозахід сприяв збільшенню кількості бульбочок на 5–7 шт/рослину. При цьому необхідно звернути увагу на те, що з поліпшенням фосфорного та калійного живлення сої і помірного азотного бульбочки утворювалися краще, але посилене азотне живлення гальмувало процес їх утворення.

Найбільша різниця за кількістю бульбочок між варіантами удобрення складала 6 шт/рослину у фазу утворення бобів сої. При цьому найменше бульбочок порівняно з абсолютним контролем утворювалося за внесення під сою лише азотних і калійних добрив по 60 кг/га д. р., а найбільше (18±3 шт/рослину) за внесення $P_{30}K_{30}$ + N_{30} за кількості на контролі без удобрення 14±3.

Значний вплив на утворення бульбочок на кореневій системі сої мала передпосівна інокуляція насіння азотфіксувальними бактеріями. Не дивлячись на несприятливі погодні умови у період вегетації, цей агрозахід сприяв збільшенню їх кількості на 7–11 шт/рослину залежно від варіанту досліду (за кількості на контрольному контролі 14 ± 3 шт/рослину).

Отже, проведеними польовими дослідженнями встановлено, що на формування симбіотичного азотфіксувального апарату рослинами сої з основних елементів живлення найбільше впливає азот. При цьому його надлишок гальмує формування та розвиток бульбочок. Поліпшення фосфорного живлення рослин сприяє цьому процесу, а рівень калійного живлення – майже не впливає. Інокуляція насіння бульбочковими бактеріями незалежно від удобрення, за виключенням варіантів досліду з внесенням 60 кг/га азоту мінеральних добрив, сприяє формуванню ефективного азотфіксувального апарату.

4.3 Динаміка формування фотосинтетичного апарату

Формування високого врожаю обумовлене оптимальною роботою фотосинтетичного апарату та тривалістю продукування органічної речовини. Для кожної сільськогосподарської культури, а також її сортів і гібридів, площа асиміляційної поверхні змінюється. Так, встановлено, що для зернових культур оптимальна площа листкової поверхні 40–60 тис. $м^2$/га, а збільшення або зменшення її веде до зниження врожаю [29]. Для створення

ефективної площі фотосинтезувальної поверхні умови росту та розвитку рослин повинні бути оптимальними.

Дослідженнями [29] встановлено, що існує тісний зв'язок між умовами фотосинтезу в рослинах і продуктивністю посівів. Встановлено [12], що соя формує листковий апарат у доволі широкому діапазоні – від 20 до 70 тис. м^2/га, проте оптимальним вважається 40–50 тис. м^2/га. За надлишкової листкової поверхні частина листків буде затінена. Крім того, ці листки не лише не продуктивні, але й зайві, оскільки для її формування надлишково використовуються поживні речовини.

Встановлено, що у першій половині вегетаційного періоду відбувається активний ріст площі листкової поверхні сої, а після того вона досягає максимальної величини (табл. 6). Динаміка наростання листкової поверхні мала криволінійний характер. Асиміляційна поверхня листків поступово зростала до фази кінець цвітіння. Під кінець вегетації рослин починається зменшення загальної площі листків. Це можна пояснити тим, що органічна речовина, яка міститься в листках, переходить в репродуктивні органи.

Таблиця 6

Динаміка фотосинтетичної поверхні листків сої залежно від удобрення та інокуляції насіння (2024–2025 рр.), тис. м^2/га

Варіант досліду	Фаза росту й розвитку рослин					
	Початок гілкування		Кінець цвітіння		Початок достигання насіння	
	1	2	1	2	1	2
Без добрив (контроль)	27	29	36	38	25	27
$P_{60}K_{60}$	29	30	37	40	29	32
$K_{60} + N_{60}$	31	31	42	43	33	35
$P_{60} + N_{60}$	32	33	42	45	36	36
$P_{30}K_{30} + N_{30}$	30	32	41	44	33	37
$P_{60}K_{60} + N_{60}$	35	36	44	43	36	37

Примітка. 1 – без інокуляції насіння, 2 – з інокуляцією.

Встановлено, що вже на початку вегетації сої добрива, особливо азотні й фосфорні, суттєво впливали на розвиток листкового апарату. Так, у фазу початку гілкування рослин у варіанті досліду з внесення повного мінерального добрива $P_{60}K_{60}$ + N_{60} листковий індекс підвищувався на 32 %. За виключення з нього азотної складової цей показник знижувався на 18 %, фосфорної – на 12 і калійної – лише на 6 %. Інокуляція насіння сої перед сівбою, за виключенням варіантів досліду з внесенням високої дози азотних добрив (N_{60}), сприяла кращому розвитку листкового апарату.

У кінці цвітіння сої площа листкового апарату сої залежно від варіанту удобрення була 36–45 тис. $м^2$/га. Як і в попередню фазу розвитку рослин, найбільше на цей показник в умовах проведення досліду впливав рівень азотного живлення рослин. Інокуляція насіння сприяла збільшенню листкового індексу сої на 6–11 % залежно від варіанту удобрення. Така ж закономірність зберігалася і у фазу початку достигання насіння сої. В цей строк визначення площа листків вже ставала меншою оптимальних значень, а високі дози добрив не забезпечували її збереження. Це можна пояснити посушливими погодними умовами у період вегетації сої. Не дивлячись на це, інокуляція насіння сої і в цей період сприяла кращому збереженню листкового апарату.

Отже, системи застосування удобрювальних продуктів істотно впливають на формування фотосинтетичного апарату сої. За цим показником на ділянках, де було посіяно інокульоване насіння, рослини не потребували внесення високої дози азотних добрив (60 кг/га д. р.). У наступні фази росту й розвитку рослин краще листковий апарат формувався за внесення повного мінерального добрива з невисокою часткою азотних добрив (30 кг/га д. р.) у поєднанні з інокуляцією насіння азотфіксувальними бактеріями.

4.4 Забезпеченість сої азотом

Інтенсивність зеленого забарвлення листків рослин залежить від вмісту хлорофілу, тому вказує на забезпеченість їх азотом. На цій основі розроблено портативні прилади N-тестери. N-тестери застосовують для визначення забезпеченості рослин азотом і коригування дози азотних підживлень сільськогосподарських культур. Оскільки різні види сільськогосподарських культур, їх сорти і гібриди різняться здатністю накопичувати хлорофіл, одержані внаслідок вимірювання N-тестером величини потрібно уточнювати. Крім того, на результати вимірювань цього показника N-тестером також впливає нестача в живленні рослин сірки, магнію та забезпеченість їх вологою (в'янення рослин, закручування листків). Тому не можна користуватися показниками приладу за таких умов. Проте на результати вимірювань не впливають час дня, покриття листків засобами захисту рослин або вологою (дощем, росою) [14]. Цей метод визначення зручний тим, що дає можливість враховати зміни вмісту хлорофілу в рослин різних сортів на різних стадіях розвитку та за різних погодних умов. Варто також зазначити, що вміст поживних речовин у ґрунті зазвичай не впливає на середній показник визначення. Тому вважається, що всі умови вирощування культури, крім азотного живлення, на контрольній і дослідній ділянці поля однакові.

У сформованому врожаї соя накопичує багато азоту. Тому живлення рослин азотом поряд з водозабезпеченням має важливе значення в його формуванні.

Дослідженнями встановлено значний вплив системи застосування удобрювальних продуктів на забезпеченість рослин сої азотом (табл. 7).

Залежно від удобрення у перший період визначення – у фазу гілкування сої показники приладу змінювалися від 414 до 471 од., а за додаткового проведення інокуляції насіння активними штамами бульбочкових бактерій – від 424 до 475. У фазу цвітіння, через місяць забезпеченість рослин сої азотом була кращою, що можна пояснити поліпшенням погодних умов, перш

за все підвищенням температури повітря та ґрунту, що сприяло кращому утворенню азоту мінеральних сполук у ґрунті.

Таблиця 7

Вплив удобрення та інокуляції насіння на забезпеченість сої азотом

(2025–2025 р.), од. приладу N-тестер

Варіант досліду	Строк визначення					
	Гілкування		Цвітіння		Утворення бобів	
	1	2	1	2	1	2
Без добрив (контроль)	414	424	532	554	414	439
$P_{60}K_{60}$	434	448	543	565	424	447
$K_{60} + N_{60}$	453	456	578	582	444	453
$P_{60} + N_{60}$	461	469	589	595	446	459
$P_{30}K_{30} + N_{30}$	455	452	572	597	447	478
$P_{60}K_{60} + N_{60}$	471	475	598	605	467	476

Примітка. 1 – без інокуляції насіння, 2 – з інокуляцією.

Залежно від удобрення у перший період визначення – у фазу гілкування сої показники приладу змінювалися від 414 до 471 од., а за додаткового проведення інокуляції насіння активними штамами бульбочкових бактерій – від 424 до 475. У фазу цвітіння, через місяць забезпеченість рослин сої азотом була кращою, що можна пояснити поліпшенням погодних умов, перш за все підвищенням температури повітря та ґрунту, що сприяло кращому утворенню азоту мінеральних сполук у ґрунті.

У другій половині вегетації сої забезпеченість рослин азотом погіршувалася, що можна пояснити перш за все його розбавленням у органах рослині, а також погіршенням умов для проходження процесів амоніфікації і нітрифікації у ґрунті. Необхідно також зазначити, що інокуляція насіння азотфіксувальними бактеріями поряд з удобренням азотними добривами у всі строки визначення рівня живлення рослин азотом сприяло його поліпшенню.

4.5 Урожайність і якість сої

Соя є однією з найбільш високорентабельною сільськогосподарських культур сучасного рослинництва в Україні. Вона є не лише важливим джерелом білка та олії, але і добрим попередником для інших культур у сівозмінах. Вирощування сої дозволяє поліпшити забезпечення інших галузей національного господарства необхідною сировиною і знизити собівартість виробленої продукції завдяки фіксації молекулярного азоту, поліпшити фітосанітарний стан посівів і значно підвищити продуктивність одиниці сівозмінної площі [2, 41]. Формування високопродуктивних посівів сої можливе за наявності достатнього ресурсного забезпечення агротехнологій, сприятливих ґрунтово-кліматичних і погодних умов. Тому на рівень урожайності насіння сої, її стабільність та якість впливає низка екологічних чинників, які становлять майже половину за оптимальних параметрів впливу інших чинників формування врожаю [2, 7, 19].

Соя здатна засвоювати з повітря близько 70 % азоту від загальної потреби за умови достатнього живлення фосфором й калієм, оптимальної реакції ґрунтового розчину та інокуляції насіння бульбочковими бактеріями. Тому вважається, що на родючих ґрунтах доза азотних добрив повинна бути малою (20–40 кг/га д. р.), щоб забезпечити достатнє живлення рослин азотом на початку вегетації, а потім формувалась висока продуктивність рослин [41].

Встановлено, що врожайність сої у роки проведення досліджень залежала від погодних умов вегетаційного періоду (табл. 8). Соя економно використовує ґрунтові запаси вологи, але навіть вона за посушливих умов формувала досить низький рівень урожаю. Порівняно з ділянками без добрив, застосування мінеральних добрив як у сівозміні, так і безпосередньо під сою підвищувало врожайність насіння на 0,19–0,33 т/га залежно від варіанту досліду. При цьому найбільші прирости врожаю були отримані за внесення лише фосфорних і калійних добрив.

Таблиця 8

Урожайність сої залежно від систем застосування удобрювальних продуктів, т/га

Варіант досліду	2024 р.	2025 р.	Середня за два роки	У середньому за два роки			
				Приріст від добрив	Приріст від інокуляції	Зміна врожайності за інокуляції, %	
						1*	2
Без добрив (контроль)	1,39 1,42	1,19 1,23	1,29 1,33	–	0,04	+3	–14
$P_{60}K_{60}$	1,42 1,46	1,62 1,68	1,52 1,57	0,33	0,05	+22	+2
$K_{60} + N_{60}$	1,64 1,67	1,31 1,41	1,48 1,54	0,19	0,06	+19	–
$P_{60} + N_{60}$	1,66 1,69	1,36 1,45	1,51 1,57	0,22	0,06	+22	+2
$P_{30}K_{30} + N_{30}$	1,58 1,71	1,48 1,62	1,53 1,67	0,24	0,14	+29	+8
$P_{60}K_{60} + N_{60}$	1,65 1,68	1,43 1,54	1,54 1,61	0,25	0,07	+25	+5
$НІР_{05}$	0,11	0,08					

Примітка. Над рискою – без інокуляції, під рискою – з інокуляцією. 1* – порівняно з абсолютним контролем, 2 – з виробничим контролем ($N_{60}P_{60}K_{60}$).

Як видно з даних табл. 8, соя за посушливих умов майже не реагує на поліпшення азотного живлення як завдяки мінеральним добривам, так й інокуляції насіння азотфіксувальними бактеріями. Приріст урожаю від внесення азотних добрив у дозі 60 кг д. р/га на фосфорно-калійному тлі ($P_{60}K_{60}$) склав лише 0,02 т/га. Застосування фосфорних і калійних добрив під сою сприяло підвищенню врожайності насіння відповідно на 0,33 т/га. При цьому слід зазначити, що зниження дози мінерального удобрення з 60 до 30 кг д. р/га кожного елементу живлення істотно не знижувало врожайність сої.

Інокуляція насіння мала незначний вплив на формування врожаю сої.

Цей агрозахід сприяв її підвищенню на 0.04–0,14 т/га залежно від варіанту удобрення. При цьому необхідно зазначити, що поліпшення фосфорного й калійного живлення сприяло підвищенню ефективності інокуляції. Тоді як за високої дози азотних добрив (60 кг/га д. р.) – її зниженню. У посушливих умовах вегетації 2024 і 2025 років найефективніше інокуляція насіння проявлялася на тлі внесення $N_{30}P_{30}K_{30}$. При цьому приріст урожаю насіння сої від інокуляції становив 14 %.

Порівняно з виробничим контролем ($N_{60}P_{60}K_{60}$), проведення інокуляції насіння неістотно підвищувало врожайність насіння. Це можна пояснити низьким рівнем сформованого врожаю і достатньою забезпеченістю рослин азотом завдяки внесенню азотних добрив.

Отже, на формування врожайності насіння сої у посушливих умовах вплив азотних добрив був незначним. При цьому найкраще себе проявила невисока доза повного мінерального добрива – $N_{30}P_{30}K_{30}$.

Якість насіння сої зазвичай визначається вмістом жиру та протеїну. Встановлено, що вміст жиру в насінні підвищується за внесення фосфорних і калійних добрив і за умови збільшення в складі повного добрива фосфору [18]. Застосування азотних добрив і підвищення дози їх внесення значно знижує вміст жиру в насінні. Поряд з цим вміст протеїну в насінні прямо залежить від доз азотних добрив і майже не змінюється під впливом фосфорних і калійних добрив.

Дослідженнями встановлено, що за різних систем удобрення, особливо азотними добривами, змінюється якість насіння сої (табл. 9).

Маса 1000 насінин є одним з основних показників структури та якості отриманого врожаю зерна сої [15, 24, 25]. Між цим показником і величиною сформованого врожаю існує пряма кореляційна залежність, що підтверджено численними дослідженнями [29, 30, 32, 39].

Як видно з даних табл. 9, за посушливих умов вегетаційного періоду поліпшення умов мінерального живлення майже не сприяло збільшенню маси 1000 насінин сої. Збільшення цього показника порівняно з контролем

спостерігалось у варіантах $N_{60}K_{60}$, $N_{60}P_{60}$ – відповідно на 9 і 7 г.

Маса 1000 насінин є одним з основних показників структури та якості отриманого врожаю зерна сої [15, 24, 25]. Між цим показником і величиною сформованого врожаю існує пряма кореляційна залежність, що підтверджено численними дослідженнями [29, 30, 32, 39].

Як видно з даних табл. 9, за посушливих умов вегетаційного періоду поліпшення умов мінерального живлення майже не сприяло збільшенню маси 1000 насінин сої. Збільшення цього показника порівняно з контролем спостерігалось у варіантах $N_{60}K_{60}$, $N_{60}P_{60}$ – відповідно на 9 і 7 г.

Під впливом добрив у насінні сої підвищувався вміст білка, а знижувався вміст жиру. Найвищий вміст білка в зерні був у варіантах досліду з внесенням повного мінерального добрива $N_{30\text{-}60}P_{30\text{-}60}K_{30\text{-}60}$. При цьому встановлено зазначити, що поліпшення фосфорного та калійного живлення рослин завдяки застосуванню мінеральних добрив посилювало вплив азотних добрив на утворення білка в насінні.

Таблиця 9

Якість насіння сої залежно від системи застосування удобрювальних продуктів, 2024–2025 рр.

Варіант досліду	Маса 1000 насінин, г		Вміст, %			
			протеїну		жиру	
	1*	2	1	2	1	2
Без добрив (контроль)	112	112	31,0	31,5	20,4	20,1
$P_{60}K_{60}$	113	113	31,4	32,2	20,6	20,2
$N_{60}K_{60}$	121	114	34,1	34,6	19,8	19,5
$N_{60}P_{60}$	119	114	34,2	34,7	19,6	19,1
$N_{30}P_{30}K_{30}$	114	115	36,0	36,7	18,2	18,0
$N_{60}P_{60}K_{60}$	114	115	35,2	35,8	19,5	19,1
$НІР_{05}$	7		1,1		0,5	

Примітка. 1 – без інокуляції насіння, 2 – з інокуляцією.

Маса 1000 насінин є одним з основних показників структури та якості отриманого врожаю зерна сої [15, 24, 25]. Між цим показником і величиною сформованого врожаю існує пряма кореляційна залежність, що підтверджено численними дослідженнями [29, 30, 32, 39].

Як видно з даних табл. 9, за посушливих умов вегетаційного періоду поліпшення умов мінерального живлення майже не сприяло збільшенню маси 1000 насінин сої. Збільшення цього показника порівняно з контролем спостерігалось у варіантах $N_{60}K_{60}$, $N_{60}P_{60}$ – відповідно на 9 і 7 г.

Під впливом добрив у насінні сої підвищувався вміст білка, а знижувався вміст жиру. Найвищий вміст білка в зерні був у варіантах досліду з внесенням повного мінерального добрива $N_{30\text{-}60}P_{30\text{-}60}K_{30\text{-}60}$. При цьому встановлено зазначити, що поліпшення фосфорного та калійного живлення рослин завдяки застосуванню мінеральних добрив посилювало вплив азотних добрив на утворення білка в насінні.

Отже, урожайність сої і ефективність її удобрення значно залежить від погодних умов вегетаційного періоду. Найбільше вона реагує на внесення азотних добрив. Частка впливу фосфорних і калійних добрив відповідно менша. Важливе значення системі її удобрення належить інокуляції насіння активними штамами бульбочкових бактерій. З поліпшенням умов мінерального живлення підвищується маса 1000 насінин і вміст у них протеїну. Між вмістом жиру і протеїну в насінні існує обернена залежність.

РОЗДІЛ 5

ЕКОНОМІЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ РІЗНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ СОЇ

Окрім показників урожайності та якості продукції, впровадження у виробництво культури, сорту, технології вирощування чи її складових, повинно супроводжуватися чітким економічним обґрунтуванням. Добір економічних варіантів технології, які забезпечують окупність витрачених ресурсів з високою ефективністю, необхідно розробляти на основі оцінювання результатів досліджень та аналізу складових агротехнології.

Серед чинників, які визначають рівень економічної ефективності вирощування сої, значне місце належить не тільки новим високопродуктивним сортам, але й певним технологічним заходам їх вирощування, які сприяють повнішій реалізації їх генетичний потенціал.

Економічну ефективність застосування мінеральних добрив розраховували за закупівельними і оптово-роздрібними цінами, що склалися в ІІІ кварталі 2025 року. Величину витрат коштів на застосування добрив і збирання, транспортування та доведення до кондиції додатково одержаного врожаю розраховували з урахуванням нормативів витрат і розцінок на технологічні операції.

До витрат, пов’язаних із застосуванням мінеральних добрив врахували їх вартість, витрати на навантаження, транспортування, внесення та обробку додатково одержаного врожаю. Вартість 1 т насіння сої – 16000 грн.

З даних табл. 10 видно, що вартість приросту врожаю у роки з посушливими погодними умовами не залежала від доз мінеральних добрив. Зі збільшенням у їх складі азотної складової до N_{60} було зниження цього показника. За вартістю приросту врожаю найкращими були варіанти досліду з внесення повного мінерального добрива у дозі $P_{60}K_{60}$ і $N_{60}P_{60}K_{60}$.

У порівнянні з парними комбінаціями основних елементів живлення, внесення азотних добрив у складі повного мінерального добрива є

збитковим, тоді як 1 кг P_2O_5 дає 16 і 1 кг K_2O – 8 грн баз застосування інокуляції насіння, а з інокуляцією – відповідно 18,60 і 10,67 грн.

Значну частку витрат на удобрення становить вартість придбання мінеральних добрив. Вони змінюються залежно від видів і доз мінеральних добрив. Так, у варіанті $N_{60}P_{60}K_{60}$ вартість азотних добрив становить 62 %, фосфорних – 24 і калійних 14 %.

У роки проведення досліджень збиток від застосування мінеральних добрив був від 7066 до 1693 грн/га, а з додатковим проведенням інокуляції насіння від –6306 до +280 грн/га залежно від варіанту досліду. За цим показником виробничий контроль ($N_{60}P_{60}K_{60}$) на 6929 грн/га був гіршим варіант досліду $N_{30}P_{30}K_{30}$ з додатковим проведенням інокуляції насіння активними штамами бульбочкових бактерій.

Майже всі системи удобрення сої у посушливих умовах у роки проведення досліджень за показником умовно чистого прибутку були збитковими – рівень збитковості становив –26…–64 % залежно від варіанту досліду. Рентабельним було проведення інокуляції насіння у варіанті досліду без застосування добрив (78 %), а також внесення $N_{30}P_{30}K_{30}$ та проведення інокуляції насіння, де рівень рентабельності становив 2 %.

Таблиця 10

Економічна ефективність застосування добрив і бактеріального препарату під сою, 2024–2025 рр.

Варіант досліду	Вартість приросту врожаю, грн/га	Витрати, пов'язані із застосуванням добрив і бактеріального препарату, грн/га				Додатково умовно чистий прибуток / збиток, грн/га	Рівень рентабельності / збитковості за умовно чистим прибутком, %
		всього	у тому числі				
			вартість		навантаження, перевезення, внесення добрив і біопрепарату та дороблення приросту врожаю		
			добрив	біопрепарату			
Без добрив (контроль)	640	– 360	–	300	60	280	78
$P_{60}K_{60}$	5280 6080	7912 8272	7050	300	862 922	-2632 -2192	-33 -26
$N_{60}K_{60}$	3040 4000	6103 6463	5443	300	660 720	-3063 -2463	-50 -38
$N_{60}P_{60}$	3520 4480	8416 8728	7453	300	963 975	-4896 -4248	-58 -49
$N_{30}P_{30}K_{30}$	3840 6080	5533 5943	4986	300	547 657	-1693 137	-31 2
$N_{60}P_{60}K_{60}$	4000 5120	11066 11426	9973	300	1093 1153	7066 -6306	-64 -55

Примітка. Над рискою без інокуляції насіння, під рискою – з інокуляцією.

РОЗДІЛ 6

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ

6.1 Моделювання виробничих небезпек під час застосування добрив та збирання врожаю сої

В умовах незначних або обмежених економічних можливостей зазвичай необхідно вирішувати усі питання забезпечення безпеки людини від час виробничих процесів. Це вказує на необхідність розроблення певних методів управління охороною праці. Вони дозволять за обмежених витрат ресурсів сформувати управлінські рішення та забезпечать максимальний соціальний ефект. Такий підхід може бути впроваджений лише створенням і дослідження відповідних моделей. Такі моделі повинні враховувати конкретні умови проведення виробництва.

У конкретних агроформуваннях за ринкових умов господарювання необхідно оцінювати можливі професійні ризику. Тому кожен роботодавець, згідно діючого законодавства зобов’язаний проводити атестацію кожного робочого місця за умовами праці. Працівники також повинні бути проінформовані про дійсні та можливі умови і охорону праці на робочих місцях, про можливі ризики для їх здоров’я.

Нині в період воєнного стану зв’язки умов праці в конкретних умовах виробництва з показниками здоров’я працівників вивчені ще недостатньо. Тому необхідно оперувати конкретними інформативними показниками інтенсивності впливу чинників умов праці. Вони повинні ґрунтуватися на даних про фактичні їх значення в певному виробничому середовищі на робочих місцях й отриманих у результаті моніторингу умов праці.

У сучасному сільськогосподарському виробництві діє значна кількість шкідливих і небезпечних виробничих чинників, які можуть викликати захворювання й травмування працівників. Може також бути пошкодження

техніки, обладнання тощо. Тому моделювання шкідливих і небезпечних виробничих чинників, а також їхнє прогнозування й усунення є актуальним. У попередженні травматизму працівників це має важливе значення.

З питань охорони праці проведено та проводиться значний обсяг робіт, проте рівень виробничого травматизму в сільському господарстві залишається досить високим. Одним зі шляхів подолання цього може бути підготовка висококваліфікованих фахівців, які мають глибокі знання з питань охорони праці. Безпосередні керівники технологічних процесів повинні вміти виявляти небезпечні та шкідливі виробничі чинники у своєму підрозділі, на робочих місцях своїх підлеглих і підприємства в цілому.

Фахівець у галузі рослинництва для розроблення ефективної системи заходів з охорони праці повинен знати, які небезпечні чинники можуть виникати під час виконання певних технологічних процесів (обробіток ґрунту, внесення добрив, сівба, догляд за посівами тощо). Найкраще для цьому застосовувати логічне моделювання. Необхідно проводити моделювання потенційно можливих аварій, травм, захворювань. Це дає можливість розробити систему управління безпекою виробництва, яка більш досконала. Така система ґрунтується на оперативному пошуку виробничих небезпек. Потім проводять їх глибокий логічний аналіз і негайно усувають потенційні небезпеки. Все це проводиться завчасно, ще до виникнення травмонебезпечних і катастрофічних ситуацій.

Виникнення небезпечних ситуацій (НС) зазвичай зумовлюється, якщо правила техніки безпеки, експлуатація машин і вимог санітарії не виконуються. Проте необхідно зазначити, що при визначенні шкідливих чинників небезпечні ситуації не є початковою ланкою. Небезпечна умова (НУ) є передумовою виникнення небезпечних ситуацій (НС).

Наявність на робочому місці певних небезпечних умов призводить до виникнення небезпечної дії (НД). Під небезпечною дією розуміють ситуацію, неправильний рух, або ж бездіяльність у конкретній ситуації.

Тому за наявності НУ можуть викликати травмонебезпечні, аварійні чи катастрофічні явища.

Неминучою умовою можливих наслідків під час виникнення небезпечної ситуації буде травма (Т).

Під час виконання робіт із застосування мінеральних добрив і збирання врожаю сої для розроблення моделі небезпечних і шкідливих виробничих чинників необхідно врахувати низку таких чинників:

НУ – відсутність необхідних знань з охорони праці в механізатора та інших працівників;

НУ 1 – відсутність необхідних знань з охорони праці в комбайнера;

НУ 2 – проведення ремонту, очищення та обслуговування комбайна;

НУ 3 – перебування обслуговуючого персоналу або інших працівників у зоні роботи комбайна;

НД – механізатор розпочав внесення мінеральних добрив і не переконався у відсутності інших працівників у зоні руху агрегату;

НД 1 – керівником робіт не був проведений інструктажу з охорони праці на робочому місці;

НД. 2 – комбайнер розпочав рух комбайну і не переконався у відсутності інших працівників у робочій зоні;

НС – наїзд на робітників, що працювали у робочій зоні;

Т – травма працівника.

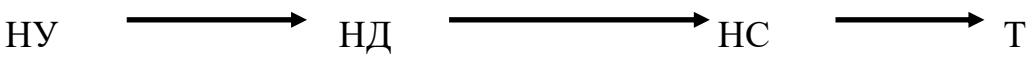


Рис. 1 Модель небезпечних і шкідливих виробничих чинників під час виконання робіт з внесення мінеральних добрив

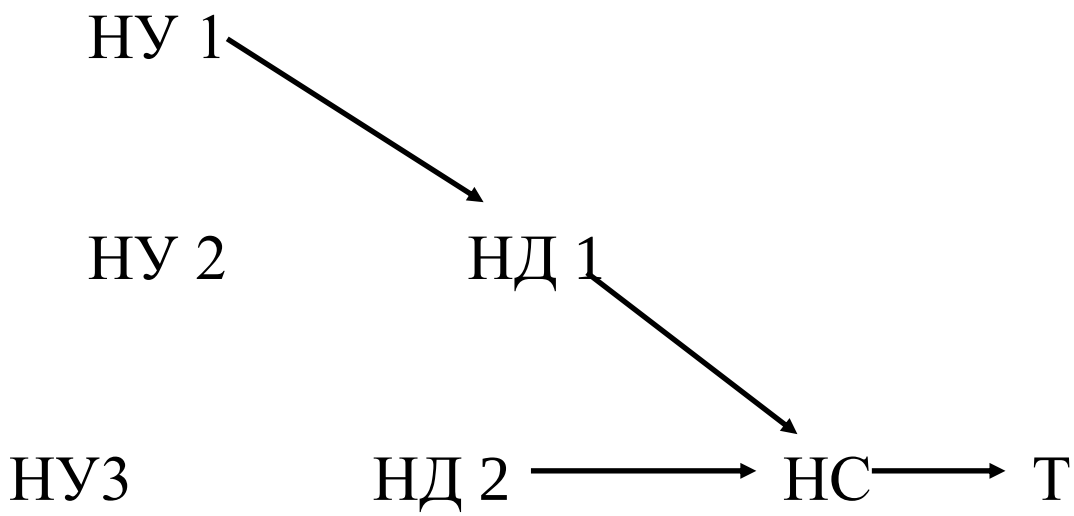


Рис. 2 Модель небезпечних і шкідливих виробничих чинників під час виконання робіт зі збирання врожаю сої

Отже, для запобігання виникнення травм під час внесення мінеральних добрив і збирання врожаю сої необхідно передбачити та запобігти виникненню всіх можливих небезпечних умов, небезпечних дій та ситуацій. Для цього необхідно:

1. Організувати і провести навчання працівників з охорони праці.

2. Забезпечити необхідний контроль дотримання умов охорони праці під час проведення робіт з внесення мінеральних добрив і збирання врожаю сої.

3. Не допускати до роботи агрегати і комбайни без встановлених захисних щитків та некваліфікованого їх налагодження.

4. Під час роботи безпосередньо з добривами і збирання врожаю забезпечити виконання вимог виробничої санітарії.

5. Не допускати піднімання працівників на машини під час їх руху, а також спускання з них.

6.2 Охорона довкілля під час застосування добрив

Безконтрольне застосування мінеральних добрив може викликати негативні наслідки. Зазвичай це викликано тим, що добрива, поряд із основними елементами живлення необхідними для живлення рослин можуть

містити різні супутні складові у вигляді мінеральних і органічних сполук важких металів, радіоактивних ізотопів. Це може негативно впливати на довкілля, продукцію рослинництва й тваринництва, здоров'я працівників, що працюють з добривами і населення в цілому [45].

Для одержання удобрювальних продуктів використовують поклади мінеральної сировини (апатити, фосфорити, сирі калійні солі). Вони зазвичай містять певну кількість домішок – від 5–10 % і більше. У сировині з токсичних елементів може бути присутній фтор, свинець, миш'як, кадмій, стронцій. Це повинно розглядатися, як потенційні джерела забруднення довкілля та повинно чітко враховуватися, особливо за високих доз внесення мінеральних добрив і тривалого їх застосування [41].

В останні десятиліття відбулися суттєві зміни у структурі забруднення сільськогосподарської продукції. На перше місце, серед всіх забруднюючих речовин, вийшли нітрати – 75 %, частка важких металів складає – близько 15, а пестицидів – сягає 8 % [22].

Не дивлячись на те, що застосування мінеральних добрив має низку негативних наслідків, дослідження вітчизняних і зарубіжних учених показують, що за удобрення приріст урожаю основних сільськогосподарських культур у середньому становить 40–50 %. Це перевищує частку приросту врожаю від інших складових технології вирощування культури: сорту чи гібриду, якості насіння, засобів захисту рослин чи способу обробітку ґрунту. У різних природно-кліматичних умовах і залежно від інших чинників приріст урожаю від удобрення змінюється в досить значних межах. Так, у зоні Полісся він може сягати 60 %, Лісостепу – 40, у Степу – 15, у Сухому Степу – 10 %. За умов зрошення у Степу показник приросту може сягати 40 % [9].

В охороні довкілля важливе значення мають форми, дози, строки і способи застосування мінеральних добрив. Шкідливий їх вплив проявляється після проникнення у водні джерела, накопичення в продукції рослинництва, фітотоксичній дії і надлишку в балансі. Причиною цих явищ може бути:

недотримання передбачених технічних умов транспортування та зберігання добрив у господарстві, порушення рекомендованих технологій застосування, неналежний рівень очищення від шкідливих домішок у процесі виробництва, недосконаліть форм добрив, а також недостатні знання поведінки впливу на агро- та біосферу.

З одного боку, метали – це мікроелементи, які можуть мати значний вплив на формування врожаю та показники якості продукції. Їх вміст є важливим показником поживного режиму ґрунтів, а з іншого – за надмірного надходження – вони вже стають важкими металами. У результаті господарської діяльності у біосфері важкі метали викликають забруднення ґрунтів і продукції. При цьому необхідно зазначити, що ґрунти, на відміну від атмосфери і гідросфери, практично не мають здатності до самоочищення від важких металів. Тому за сучасних умов землекористування вони є основним накопичувачем важких металів.

Основна маса металів у процесі виробництва викидається в атмосферу, але через певний час вже потрапляє на поверхню ґрунтів. Зазвичай вони включаються у ґрунтоутворювальні процеси. Деяка частка все ж поглинається рослинами і видаляється з ґрунту з урожаєм. Забруднення ґрунтів важкими металами негативно впливає на їх мікробіоту активність. Це викликає порушення у ґрунті важливих мікробіологічних процесів – азотфіксації, нітрифікації, мінералізації рослинних решток.

Отже, важкі метали є одними з найпоширеніших забруднювачів довкілля під час застосування мінеральних добрив. Через міграційні та інші процеси важкі метали надходять в організм людини. Це може відбуватися за різними схемами: ґрунт–рослина–людина; ґрунт–рослина– тварини–людина; ґрунт–вода–людина; ґрунт–тварини–людина; ґрунт–повітря–людина.

Технологія видобування та виробництва є початковим етапом перетворення гірських порід у мінеральні добрива. Це одна зі значних складових техногенного впливу практично будь-якої форми мінеральних добрив. Вона характеризується високими енерговитратами і тісно пов’язана

із екологічними проблемами. Ці проблеми вирішувати досить складно. Тому оцінювати вплив мінеральних добрив і їх безпеку необхідно розпочинати з особливостей виробництва.

Під час транспортування, зберігання, підготовки до внесення та внесення в ґрунт агрегатний стан добрив не повинен змінюватися. При цьому частина поживних речовин добрив і окремі домішки можуть звітрюватися й забруднювати атмосферу. Також поживні речовини добрив виносяться врожаями. Сільськогосподарські культури виносять неоднакову кількість поживних речовин з ґрунту для формування врожаю. Кількість винесених елементів живлення залежить не тільки від маси врожаю, але й від умов живлення впродовж вегетаційного періоду, відношення між товарною та нетоварною частинами врожаю і є неоднаковою в різних культур. Так, злакові культури 70 % загального азоту, що міститься в надземній масі рослин, виносяться із зерном, а решта залишається в соломі. Подібна закономірність характерна і для фосфору, тоді як 70 % калію міститься у нетоварній продукції, яка зазвичай залишається на полі на добриво.

Значну небезпеку для довкілля мають азотні добрива. За надлишкового внесення у ґрунт їх складові (нітрати, карбамід) можуть мігрувати як по його поверхні, так і в поверхневі та підземні води. При цьому не використаний рослинами азот добрив розподіляється таким чином: 50 % іммобілізується ґрунтовою біомасою та 50 % втрачається у вигляді проміжних сполук, що утворюються в процесі денітрифікації та амоніфікації. Невикористаний сільськогосподарськими культурами азот добрив залучається до загального колообігу в екосистемах. Процес денітрифікації пов’язаний із втратою азоту з ґрунту і значно посилюється в дощовий період. За умови підвищеної вологості ґрунту і слабкокислої реакції ґрунтового середовища азот зазвичай втрачається у молекулярному вигляді, і навпаки, у лужному середовищі, за невисокої вологості ґрунту, зазвичай виділяються оксиди азоту. Втрати азоту більше характерні для ґрунтів, які не зайнятих рослинністю, та за поверхневого способу внесення добрив без заробляння у ґрунт.

Викликає також занепокоєння порушення оптимального поєднання між елементами живлення у добриві. Нині у складі повного добрива зазвичай значно переважає азотна складова. Така диспропорція є екологічно шкідливою. Це зумовлює накопичення у продукції рослинництва нітратів у кількостях, що перевищують гранично допустимі величини. З азотних добривах частина азоту закріплюється в ґрунті в органічній формі, а мінеральна форма закріплення азоту ґрунтовими мікроорганізмами чітко виражена в утворенні амонійних і нітратних сполук [9].

Після внесення в ґрунту амонійно-нітратних добрив амонійний азот поглинається ґрунтовим вбирним комплексом, а нітратний залишається в ґрунтовому розчині. У ґрунті карбамід під впливом уробактерій упродовж 2–3-х діб амоніфікується і перетворюється на карбонат амонію. Під впливом нітрифікувальних бактерій цей азот переходить у нітратну форму. Такі процеси призводять до утворення нітратів, які можуть надлишково накопичуватися у рослинах. Частина мінеральних добрив із непристосованих складів для їх зберігання, під час транспортування і внесення, зокрема авіацією може потрапляти у поверхневі води. Внутрішні водойми надзвичайно вразливі, оскільки відбувається надлишкове накопичення розчинних поживних речовин, насамперед азотистих сполук.

Отже, екологічно безпечні мінеральні добрива – це засоби підвищення продуктивності сільськогосподарських культур із мінімальним умістом шкідливих речовин. Вони придатні до певних ґрунтово-кліматичних умов і виготовлені з використанням сучасних екологобезпечних технологій, які не призводять до забруднення довкілля. Дотримання екологічно безпечних технологій транспортування, зберігання та застосування мінеральних добрив повинно здійснюватися комплексом заходів нормативно-правового, організаційного та технологічного плану.

ВИСНОВКИ

У роботі наведено обґрунтування та вирішення питання впливу мінеральних добрив на тлі заробляння в ґрунт нетоварного врожаю зернових культур сівозміни на основні показники родючості чорнозему опідзоленого важкосуглинкового Правобережного Лісостепу і встановлення оптимальних їх доз у поєднанні з інокуляцією насіння активними штамами бульбочкових бактерій на формування врожаю сої, що дозволило сформулювати такі висновки:

1. За різного агрохімічного навантаження чорнозем опідзолений важкосуглинковий найбільше середньорічне зниження запасів гумусу (0,25–0,53 т/га) в шарі ґрунту 0–20 см спостерігається у варіантах досліду без внесення добрив і з внесенням $P_{60}K_{80}$ та K_{80} + N_{110}. Поряд з цим простежується тенденцію підкислення ґрунтового розчину на 0,1–0,3 од. pH_{KCl}, особливо за внесення високих доз азотних і калійних добрив. Це свідчить про необхідність проведення періодичного підтримувального вапнування чорнозему опідзоленого.

2. Застосування добрив змінило структуру ґрунтового вбирного комплексу. Гідролітична кислотність ґрунту підвищиласьдо 3,02–3,85 смоль/кг (за показника перед закладанням досліду 2,78 смоль/кг). Проте ємність вбирання ґрунту під впливом удобрення майже не піддалася змінам. Ступінь насиченості основами знизився з 89,9 % до 85,8–89,7 % залежно від варіанту удобрення.

4. Від системи застосування залежить поживний режим ґрунту. Він має низький вміст азоту легкогідролізованих сполук навіть за внесення $P_{60}K_{80}$ + N_{110} на тлі залишеної на добриво нетоварної частини врожаю упродовж 13–14 років. Фосфорні добра в дозі 30–60 кг д. р. на 1 га площі сівозміни підтримують вміст рухомих сполук фосфору у ґрунті на вихідному рівні або частково збільшуть їх вміст. У варіанті досліду K_{80} + N_{110} середньорічне зниження їх вмісту становить майже 2,5 мг/кг ґрунту. У варіанті досліду без

внесення калійних добрив пройшло істотне зниження – з 132 до 124 мг/кг ґрунту рухомих сполук калію і це на тлі повернення калію в ґрунт з нетоварною продукцією.

5. На утворення азотфіксувального апарату соєю найбільше впливає рівень азотного живлення. При цьому його надлишок гальмує формування та розвиток бульбочок. Поліпшення фосфорного живлення рослин також сприяє цьому процесу, а рівень калійного живлення – майже не впливає.

6. Удобрення істотно впливає на формування фотосинтетичного апарату сої. Краще листковий апарат формувався за внесення повного мінерального добрива з невисокою часткою азотних добрив (30 кг/га д. р.) у поєднанні з інокуляцією насіння азотфіксувальними бактеріями.

7. Залежно від варіанту досліду та строку визначення забезпеченість сої азотом змінюється в межах 414–605 од. приладу. Інокуляція насіння азотфіксувальними бактеріями поряд з удобренням азотними добривами у всі строки визначення рівня живлення рослин азотом сприяло його поліпшенню.

8. Застосування мінеральних добрив як у сівозміні, так і безпосередньо під сою підвищує врожайність сої на 0,19–0,33 т/га залежно від варіанту досліду. При цьому найбільші прирости врожаю за посушливих умов отримано за внесення лише фосфорних і калійних добрив. Інокуляція насіння сприяла підвищенню врожайності на 0,04–0,14 т/га залежно від варіанту удобрення.

9. Під впливом добрив у насінні сої підвищується вміст білка, а знижувався вміст жиру. Поліпшення фосфорного та калійного живлення рослин посилює вплив азотних добрив на утворення білка в насінні.

10. За посушливих умов майже всі системи удобрення за умовно чистого прибутком були збитковими – рівень збитковості становиі –26…–64 % залежно від варіанту досліду. Рентабельним було проведення інокуляції насіння у варіанті досліду без застосування добрив (78 %), а також внесення $N_{30}P_{30}K_{30}$ та проведення інокуляції насіння – 2 %.

11. Господарствам Правобережного Лісостепу України для відновлення родючості чорнозему опідзоленого з низьким вмістом азоту легкогідролізованих сполук (за методом Корнфілда) та підвищеним – рухомими сполуками фосфору й калію (за методом Чирикова), для поліпшення мінерального живлення рослин за посушливих умов система удобрення сої повинна передбачати: на тлі заробляння у ґрунт соломи ячменю ярого внесення під основний обробіток ґрунту $P_{30}K_{30}$, N_{30} під передпосівну культивацію та оброблення насіння суспензією бактеріального препарату Оптимайз 400, РК нормою 1,8 л/т.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Агробіологічні основи вирощування сої та шляхи максимальної реалізації її продуктивності : монографія / Заболотний Г. М., Мазур В. А. та ін. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2020. 270 с.

2. Алєксєєв О. О. Вплив екологічних факторів на розвиток і продуктивність бобово-ризобіального симбіозу. *Сільське господарство та лісівництво. Екологія та охорона навколишнього середовища*. 2016. №4. С. 187–196.

3. Бабич А. О., Петриченко В. Ф., Адамень Ф. Ф. Проблема фотосинтезу і біологічної фіксації азоту бобовими культурами. *Вісник аграрної науки*. 1996. №2. С. 37–39.

4. Биорегуляция микробно-растительных систем: монография; Аутинская Г. А., Пономаренко С .П., Андреюк Е. И. [и др.]; под общ. ред. Г. А. Аутинской, С. П. Пономаренко. Киев : Ничлава, 2010. 464 с.

5. Вишнівський П. С., Камінський В. Ф. Зернобобові культури в умовах зміни клімату. *Корми і кормовиробництво.* 2013. Вип. 77. С. 110–117.

6. Волкогон В. В., Надкернична О. В., Ковалевська Т. М. та ін. Мікробні препарати у землеробстві. Теорія і практика. Київ : Аграр. наука, 2006. 312 с.

7. Волкогон В. В., Надкернична О. В., Токмакова Л. М. та ін. Експериментальна ґрунтова мікробіологія: монографія. За наук. ред. В. В. Волкогона. Київ : Аграр. наук., 2010. 464 с.

8. Господаренко Г. М. Агрохімія мікроелементів. Київ : ТОВ «ТРОПЕА», 2025. 416 с.

9. Господаренко Г. М. Агрохімія. Київ : ТОВ «ТРОПЕА», 2024. 572 с.

10. Господаренко Г. М. Система застосування добрив. Київ : ТОВ «ТРОПЕА», 2022. 376 с.

11. Господаренко Г. М. Сучасні погляди на умови мінерального живлення та удобрення сої**.** Управління живленням олійних культур ; за заг. ред. Г. М. Господаренка. Київ : ТОВ «ТРОПЕА», 2025. С. 328–344.

12. Господаренко Г. М., Любич В. В., Бомко С. М. Формування врожаю сої залежно від складових агротехнології. Київ : ТОВ «ТРОПЕА», 2021. 184 с.

13. Господаренко Г. М., Черно О. Д., Нікітіна О. В. Агрохімія калію; за заг. ред. Г. М. Господаренка. Київ : ТОВ «ТРОПЕА», 2021. 264 с.

14. Господаренко Г. М. Практикум з агрохімії. Київ : ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2020. 148 с.

15. Господаренко Г. М., Бахмат О. М., Прокопчук І. В., Вишневська Л. В., Кравченко В. С. Складові технології вирощування сої. За заг. ред. Г. М. Господаренка. Умань : Видавець «Сочінський М. М.», 2019. 208 с.

16. Господаренко Г. М., Невлад В. І. Шляхи оптимізації азотного живлення гороху на чорноземі опідзоленому. *Науковий вісник Національного аграрного університету.* 2000. № 26. С. 213–218.

17. Господаренко Г. М., Прокопчук І. В., Бойко В. П. Засвоєння основних елементів живлення соєю з ґрунту й добрив. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2020. Вип. 89. С. 63–70.

18. Господаренко Г. М., Прокопчук І. В., Леонова К. П., Бойко В. П. Урожайність і якість насіння сої за різного удобрення на чорноземі опідзоленому. *Зб. наук. пр. Уманського НУС*. 2020. Вип. 97. Ч. 1. С. 137–144.

19. Господаренко Г. М. Живлення та удобрення зернобобових культур за сучасних технологій вирощування. Симбіотична азотфіксація та врожай; за заг. ред. Г. М. Господаренка. Київ : ТОВ «ТРОПЕА», 2024. С. 353–383.

20. Господаренко Г. М. Мінеральне живлення культур і якість урожаю. *Посібник українського хлібороба*. 2013. Т. 2. С. 87–91.

21. Господаренко Г. М. Основи інтегрованого застосування добрив у польовій сівозміні. Київ : ЗАТ «Нічлава», 2002. 342 с.

22. Даниленко А. С., Горлачук В. В., В'юн В. Г. та ін. Управління відтворенням і збереженням родючості ґрунту у контексті сталого розвитку природокористування. Миколаїв : Вид-во ПП «Іліон», 2003. 39 с.

23. Дідович С. В., Толкачов М. З., Бутвіна О. Ю. Ефективність симбіотичної азотфіксації в агроценозах України. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2008. Вип. 8. С. 117–125.

24. Дідора В. Г. Симбіотична продуктивність сої залежно від інокуляції насіння та удобрення. *Наукові горизонти*. 2018. №1 (64). С. 24–28.

25. ДСТУ ISO 520:2015. Зернові і бобові. Визначення маси 1000 зерен. Київ. 2015. 10 с.

26. Думич В. І. Вплив біопрепаратів на ефективність вирощування сої в Західному регіоні України. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: Зб. наук. пр. УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого*. 2020. Вип. 26 (40). С. 292–298.

27. Єщенко В. О., Копитко П. Г., Костогриз П. В., Опришко В. П. Основи наукових досліджень в агрономії: підручник. За ред. В. О. Єщенка. Вінниця : ПП «ТД «Едельвейс і К»», 2014. 332 с.

28. Зернобобові культури; за ред. А. О. Бабича. Київ : Урожай, 1984. 160 с.

29. Каленська С. М., Єрмакова Л. М., Паламарчук В. Д. та ін. Системи сучасних інтенсивних технологій у рослинництві. Вінниця : Рогальська І. О., 2015. 448 с.

30. Камінський В. Ф. Агробіологічні основи інтенсифікації вирощування зернобобових культур в Лісостепу України : автореф. дис. … д-ра. с.-г. наук: 06.01.09. Вінниця, 2006. 48 с.

31. Карасюк І. М., Господаренко Г. М., Невлад В. І. Ефективність ризоторфіну при вирощуванні гороху на чорноземі опідзоленому. *Степове землеробство*. 1992. Вип. 26. С. 29–34.

32. Кірілеско О. Л., Мовчан К. І. Формування врожайності зернобобових культур в умовах західного Лісостепу України. *Корми і кормовиробництво*. 2016. № 82. С.127–132.

33. Кобизєва Л. Н. Різноманіття колекційного матеріалу гороху, сої, квасолі, нуту та сочевиці за рівнем біологічної урожайності. *Селекція і насінництво*. 2014. Вип. 106. С. 34–41.

34. Коць С. Я. Сучасний стан досліджень біологічної фіксації азоту. *Физиология и биохимия культ. растений*. 2011. Т. 43. №3. С. 212–225.

35. Ляшенко В. В., Лотиш І. І., Тараненко А. О., Крикунова В. Ю., Кундиус К. О. Вплив азотних добрив на урожайність та якість насіння сої. *Вісник ПДАА*. 2019. № 4. С. 58−65.

36. Методика Державного сортовипробування сільськогосподарських культур (зернові, круп'яні та зернобобові культури); за ред. В. В. Волкодава. Київ, 2001. 69 с.

37. Михайленко Л. П. Формування продукційного процесу зернобобових культур під впливом погодних і технологічних факторів в північній частині Степу: автореф. дис. … канд. с.-г. наук: 06.01.09. Дніпропетровськ, 2005. 23 с.

38. Мокрієнко В., Пірда В. Оптимізація азотного живлення – світовий дослід. *Агробізнес Сьогодн*і. 2020. №12. С. 34–37.

39. Молдован В. Г., Молдован Ж. А., Собчук С. І. Вплив способів мінерального живлення на формування продуктивності сої в умовах Лісостепу Західного. *Наукові горизонти*. 2018. №1 (64). С. 56–63.

40. Симбіотична азотфіксація та врожай; за заг. ред. Г. М. Господаренка. Київ : ТОВ «ТРОПЕА», 2024. 416 с.

41. Система удобрення сільськогосподарських культур у землеробстві початку XXI століття. С. А. Балюк та ін. /За ред. С. А. Балюка, М. М. Мірошниченка. Київ: Альфа-стевія, 2016. 400 с.

42. Терновий Ю. В., Городиська І. М., Чуб А. О., Плаксюк Л. Б. Сортовий склад сої для органічного виробництва. *Агроекологічний журнал*. 2018. № 3. С. 45–51.

43. Трус О. М., Господаренко Г. М., Прокопчук І. В. Гумус чорнозему опідзоленого та його відтворення. Умань: РВВ Уманського НУС, 2016. 228 с.

44. Управління живленням олійних культур : за заг. ред. Г. М. Господаренка. Київ : ТОВ «ТРОПЕА», 2025. 360 с.

45. Шикула М. К., Ігнатенко О. Ф., Петренко Л. Р., Капштик М. В. Охорона ґрунтів. Київ : Т-во «Знання», КОО, 2004. 398 с.

46. Юник А., Мокрієнко В., Пірда В. Удобрення сої: основні складові успіху. *Агробізнес Сьогодні*. 2020. №12. С. 28–31.

47. Юник А., Мокрієнко В., Пірда В. Які елементи потрібні сої? *Агробізнес Сьогодні*. 2020. №13. С. 62–64.

48. Didur I.M., Tsyhanskyi V.I., Tsyhanska O.I., Malynka L.V., Butenko A.O., Klochkova T.I. The effect of fertilizer system on soybean productivity in the conditions of right bank Forest-Steppe. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2019. № 9(1). P. 76–80.

49. Rudska N. Species composition of soy agrocenose pests and control of their number in the right bank forest steppe. *Сільське господарство та лісівництво*. 2022. № 1 (24). С. 128–142.