МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет агрономії
Кафедра загального землеробства

Допущено до захисту
«____» _____ 2025 р.
Зав. кафедри к. с.-г. н, доцент
_____Олександр Карнаух

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ступеня вищої освіти магістр

ВПЛИВ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ СОЇ В УМОВАХ ТОВ «БЕРЕСТІВЕЦЬ» УМАНСЬКОГО РАЙОНУ ЧЕРКАСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Виконав студент 2-го курсу, 25 м-а групи
Якимчук Вадим Віталійович

Керівник
КОВАЛЬ Галина Володимирівна, кандидат с.-г. наук, доцент

Умань – 2025

ЗМІСТ

ВСТУП ... 3
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ НАУКОВИХ ДЖЕРЕЛ ВПЛИВУ МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ СОЇ (огляд літератури) ... 5
РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕНЬ ... 12
2.1. Ботанічна і біологічна характеристика сої ... 12
2.2. Характеристика сорту S007-Y4 ... 13
РОЗДІЛ 3. УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ... 15
3.1. Ґрунтові умови ... 15
3.2. Погодні умови ... 17
3.3. Схема досліду ... 20
3.4. Агротехніка вирощування сої у досліді ... 22
3.5. Методика проведення досліджень ... 26
РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ... 29
4.1. Фенологічні спостереження та ріст рослин сої залежно від системи удобрення ... 29
4.2. Елементи структури врожаю сої залежно від системи удобрення ... 30
4.3. Урожайність сої залежно від системи удобрення ... 32
4.4. Якість зерна сої ... 34
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ СОЇ ЗА РІЗНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ ... 37
5.1. Аналіз економічної ефективності ... 37
5.2. Аналіз енергетичної ефективності ... 38
РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ПРИ ВИКОНАННІ ПОЛЬОВИХ ДОСЛІДІВ ... 40
6.1. Охорона праці, виробнича санітарія та гігієна праці при проведенні польових робіт ... 40
6.2. Екологічна безпека та вплив рекомендованої системи удобрення на довкілля і якість продукції ... 41
ВИСНОВКИ ... 43
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ... 45
ДОДАТКИ ... 51

ВСТУП

Соя є однією з провідних зернобобових культур світового аграрного виробництва, що відіграє ключову роль у формуванні білкового та олійного балансу, забезпечує тваринництво високоякісними кормами та є сировиною для харчової й переробної промисловості [1]. В Україні соя стабільно займає вагому частку у структурі посівних площ, а її виробництво характеризується зростанням попиту, що зумовлено економічною привабливістю культури та універсальністю її використання [2].

В умовах сучасних кліматичних змін, які відбуваються в останні десятиліття та проявляються у підвищенні середньодобових температур повітря, збільшенні тривалості бездощових періодів, нерівномірному розподілі опадів та посиленні ризиків ґрунтової і повітряної посухи, формування врожайності сої стає все більш залежним від адаптивних технологічних заходів [3]. Особливо чутливою соя реагує на дефіцит вологи у фазах цвітіння та наливання бобів, що призводить до зниження кількості зав’язей, підвищення абортації та погіршення структури врожаю. Подібні тенденції спостерігалися у 2025 р. в умовах Уманського району Черкаської області, де недостатнє зволоження поєднувалося зі значним перевищенням середньобагаторічних температур у період вегетації.

Попри значну кількість наукових праць, присвячених живленню сої, питання оптимізації системи удобрення в умовах Правобережного Лісостепу за сучасних кліматичних викликів вивчено недостатньо. Більшість наявних рекомендацій сформовано за стабільніших ґрунтово-кліматичних умов, тоді як сучасне землеробство потребує адаптивних технологічних рішень, орієнтованих на ресурсоощадність, водозбереження та економічну доцільність. У зв’язку з цим дослідження, проведені в ТОВ «Берестівець» Уманського району Черкаської області із використанням реальних погодних показників, мають високу наукову та прикладну значущість.

Актуальність теми зумовлена тим, що наявні рекомендації щодо мінерального живлення сої не відповідають сучасним жорстким кліматичним

умовам Уманського району, зокрема температурним аномаліям 2025 року. В умовах дефіциту вологи стандартні норми внесення NPK не забезпечують достатньої реалізації потенціалу культури, що обумовлює потребу в адаптивній системі удобрення сорту S007-Y4 в ТОВ «Берестівець» для стабілізації врожайності та підвищення економічної ефективності вирощування сої.

Наукова новизна роботи полягає у встановленні ефективності різних систем удобрення сої сорту S007-Y4 за умов підвищених температур та нестабільного зволоження, характерних для вегетаційного періоду 2025 р. у зоні Правобережного Лісостепу. У роботі оцінено вплив доз NPK та мікродобрив на формування структурних елементів урожаю, якісні показники насіння та рівень адаптивності рослин до водного дефіциту.

Практична цінність роботи полягає у розробці адаптованої системи удобрення, що враховує особливості ґрунтово-кліматичних умов Уманського району, агрохімічний стан чорноземів опідзолених та економічну доцільність застосування добрив. Отримані результати можуть бути використані у виробничих умовах для підвищення врожайності сої, поліпшення якості зерна та підвищення рентабельності її вирощування.

Результати досліджень пройшли апробацію 20 листопада 2025 року на IX Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні питання сучасної аграрної науки», в рамках якої була опублікована теза доповіді, яка і підтверджує наукову обґрунтованість і практичну значущість.

РОЗДІЛ 1.
АНАЛІЗ НАУКОВИХ ДЖЕРЕЛ ВПЛИВУ МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ СОЇ (огляд літератури)

Соя як високобілкова та високопродуктивна культура займає важливе місце у світовому та українському землеробстві, що зумовлено її універсальністю, біологічними особливостями та значним економічним потенціалом. В умовах зміни клімату, нестабільного зволоження та зростання впливу абіотичних чинників особливого значення набуває вивчення ефективності різних систем удобрення та їх впливу на формування врожайності [3].

Одним з ключових напрямів сучасних досліджень є вивчення реакції сої на мінеральне живлення під впливом стресових чинників. За даними Ткаченка та Позднєва [4], ефективність засвоєння елементів живлення соєю значною мірою залежить від температурного режиму та рівня вологозабезпечення ґрунту. Автори відзначають, що дефіцит бору та магнію при високих температурах часто призводить до зниження запліднення квіток, абортації зав'язей та формування дрібного насіння. Такі прояви особливо характерні для Правобережного Лісостепу, де за останні роки посилилися прояви повітряної та ґрунтової посухи.

Значну увагу вітчизняні дослідники приділяють поєднанню мінерального живлення з інокуляцією насіння. За результатами досліджень Ярового Я [5], поєднання стартових доз NPK з інокуляцією сприяє активнішому формуванню бульбочкових бактерій і забезпечує підвищення врожайності на 0,2–0,5 т/га порівняно з варіантами без біологічної азотфіксації. При цьому оптимальний ефект спостерігається за помірних доз мінерального азоту, тоді як надлишкові дози (понад $N_{40–50}$) здатні пригнічувати симбіоз і знижувати ефективність мінералізації азоту.

У літературних джерелах [6] зазначається, що для підвищення активності бульбочкових бактерій широкого застосування набули інокулянти, які забезпечують краще заселення кореневої системи сої симбіотичними штамами.

Обробка насіння такими препаратами, за даними досліджень, дає змогу підвищити урожайність культури на 10–20 % та збільшити вміст білка приблизно на 6 %. Таким чином, у системі удобрення сої застосування мінеральних і бактеріальних добрив є ключовою складовою технології, ефективність якої значною мірою залежить від біологічних особливостей сорту та рівня родючості ґрунту.

Важливу інформацію щодо формування врожайності сої на різних ґрунтових типах показують дослідження Ратошнюка та ін [7]. На дерново-підзолистих ґрунтах встановлено високу залежність урожайності від рівня забезпеченості доступними формами фосфору та калію. Автори підкреслюють, що за дефіциту вологи соя різко знижує поглинання Р і К, що погіршує формування бобів та зменшує масу 1000 насінин. За подібних умов підвищення дози фосфорно-калійних добрив забезпечувало приріст урожаю на 13–22 %, що підтверджує важливість оптимізації системи удобрення у районах з нестійким зволоженням.

У дослідженнях Бричка та Зубенка [8] акцент зроблено на економічній доцільності застосування мінеральних добрив під сою. Автори зазначають, що максимальна рентабельність виробництва досягається за внесення помірних доз NPK (у межах $N_{20–40}$ $P_{40–60}$ $K_{40–60}$), тоді як надмірні дози добрив часто не окупаються через низьку реакцію культури на додатковий азот та можливе зниження ефективності симбіотичної азотфіксації. Дані свідчать, що питання оптимального співвідношення продуктивності та економічної ефективності є ключовим для розробки адаптивних технологій вирощування.

Лихочвор та інші співавтори у своїх дослідженнях підкреслюють, що ефективність застосування добрив залежить не тільки від їх дози, а й від рівня фотосинтетичної активності рослин [9]. Автори встановили, що поєднання збалансованого мінерального живлення з оптимальним листковим підживленням підвищує площу асиміляційної поверхні та тривалість активного фотосинтезу, що позитивно впливає на урожайність, особливо в умовах дефіциту опадів.

Застосування мікробіологічних препаратів сприяє активному формуванню бульбочкових бактерій, збільшенню листкової поверхні, підвищенню висоти рослин, кількості гілок, вузлів, бобів і насіння, що загалом забезпечує зростання урожайності та покращення його якісних показників [10]. Особливого значення набувають біопрепарати на основі мікроорганізмів, здатних трансформувати важкорозчинні органічні та мінеральні фосфати у доступні для рослин форми, оскільки за дефіциту фосфору знижується вірулентність бульбочкових бактерій [11]. Фіксація атмосферного азоту тісно пов'язана з процесами енергозабезпечення рослини, зокрема утворенням АТФ, основним компонентом якого є фосфор. Одним із ефективних шляхів оптимізації умов функціонування ризобіального симбіозу є поєднане використання під час інокуляції насіння ризобій зі штамами мікроорганізмів, що мають властивості фосфатмобілізації та здатність пригнічувати розвиток фітопатогенних грибів [12].

Фотосинтетична діяльність сої також істотно залежить від умов живлення, що підтверджено результатами Чинчика [13]. Автором встановлено, що поліпшення мінерального живлення сприяє підвищенню інтенсивності фотосинтезу, збільшенню маси листкової поверхні та покращенню структурних елементів урожаю. Підвищення забезпеченості рослин фосфором і калієм сприяло формуванню більшої кількості бобів та насінин у бобі, що є визначальним фактором формування врожайності за стресових умов.

Одним із ключових чинників, що визначає якість насіння сої, є раціональна система удобрення [14]. У літературі підкреслюється складність поєднання в живленні культури біологічного та мінерального (технічного) азоту, оскільки ефективність цих джерел є багатогранною і залежить від низки технологічних та ґрунтово-кліматичних факторів [15]. Оптимізація азотного живлення полягає у створенні таких умов, за яких процеси засвоєння мінерального азоту та біологічна фіксація атмосферного азоту відбуватимуться узгоджено, без взаємного пригнічення [16]. Разом з тим і досі немає однозначної думки щодо того, чи здатна азотфіксація повністю забезпечити потреби рослин у азоті для

формування максимальної продуктивності, а отже й щодо доцільності внесення мінеральних азотних добрив під сою [17].

Соя характеризується високою потребою в азоті, значну частину якого вона отримує завдяки симбіотичній фіксації атмосферного азоту [18]. У симбіозі з ефективними штамами Rhizobium рослини здатні повністю забезпечувати власну потребу в цьому елементі [19]. У середньому після сої в ґрунті залишається 60–150 кг/га біологічно фіксованого азоту (який використовується наступними культурами на 90–100 %, тоді як мінеральний – лише на 50–60 %), а також 20–25 кг/га P_2O_5 та 30–40 кг/га K_2O [20].

Соя характеризується значним винесенням елементів живлення з ґрунту, тому для інтенсивних сортів важливим є підтримання у кореневмісному шарі високих концентрацій легкодоступних поживних речовин [21]. На формування 1 т насіння та відповідної кількості стеблової маси з ґрунту виноситься близько 70–75 кг азоту, 18–20 кг фосфору та 20–25 кг калію [19, 20, 22]. Водночас показники відносного винесення основних елементів живлення соєю варіюють у широких межах залежно від сорту, рівня урожайності та умов вирощування, що зумовлює необхідність подальших досліджень у цьому напрямі.

Недостатня забезпеченість рослин елементами живлення, особливо на ранніх етапах органогенезу, часто призводить до зниження інтенсивності ростових процесів [23]. Застосування стартової дози азоту сприяє прискореному розвитку сходів та формуванню кореневої системи до моменту встановлення ефективної симбіотичної фіксації атмосферного азоту [19, 20]. Фосфор, у свою чергу, підвищує стійкість рослин до стресових чинників і прискорює формування азотфіксувальних бульбочок, забезпечуючи стабільне засвоєння азоту [24].

Калій відіграє провідну роль у накопиченні білка та олії в насінні сої, що підвищує його харчову цінність і посухостійкість [25]. Найбільша потреба у цьому елементі спостерігається від початку формування насіння і триває до 2–3 тижнів перед настанням його стиглості [26]. Калій також бере участь у процесах азотного обміну та перерозподілу вуглеводів, регулює водний баланс, сприяє

синтезу білка та підвищує стійкість рослин до хвороб і вилягання [27]. Попри те, що калійні добрива окремо не мають вирішального значення, їх поєднання з азотними та фосфорними забезпечує інтенсивний ріст, активний розвиток і формування високого рівня врожайності [28].

Соя є вимогливою до поживного режиму ґрунту і характеризується високою відзивністю на збалансоване мінеральне живлення [29]. Тому у технології її вирощування важливим є комплексне забезпечення всіма необхідними елементами [20, 30]. Дефіцит будь-якого з них може призвести до погіршення якісних показників насіння, що підтверджує необхідність системного підходу до живлення культури [31].

З огляду на високі потреби сої в елементах живлення, для формування урожайності на рівні 3,0–3,5 т/га рекомендується вносити під зяблеву оранку близько 60 кг/га д. р. фосфорних і калійних добрив та 30–45 кг/га д. р. азотних препаратів [32].

Ефективність технології вирощування сої значною мірою підвищується за рахунок застосування мікродобрив. Передпосівна обробка насіння мікроелементами покращує його схожість і енергію проростання, знижує ураження хворобами та підвищує стійкість рослин до стресових умов на початкових етапах розвитку [33]. Використання рідких комплексних добрив забезпечує швидке надходження доступних форм поживних елементів, сприяє активному старту ростових процесів і формуванню вищого потенціалу урожайності [27, 34]. Важливою складовою є також листкове підживлення, яке сприяє збільшенню вмісту білка в насінні сої, покращенню смакових властивостей та підвищенню маси 1000 насінин [34].

Площа листкової поверхні є одним із найважливіших показників фотосинтетичної активності сої, оскільки визначає здатність рослин ефективно засвоювати сонячну енергію та формувати органічну речовину. Оптимальний розвиток листкового апарату прямо корелює з продуктивністю посівів, і, за даними наукових досліджень [35], максимальні врожаї досягаються за формування площі листків на рівні 40–50 тис. м²/га. Як зазначають автори,

листкова площа реагує на агротехнічні та фізіолого-біохімічні чинники, зокрема на передпосівну обробку насіння метаболічно активними речовинами. Застосування комбінації вітаміну Е та убіхінону-10 сприяло збільшенню площі трійчастого листка у фазі 1–3 листків на 77 % порівняно з контролем, тоді як у фазі цвітіння приріст становив 66,1 %. Інші комбінації – вітамін Е + метіонін + ПОБК + $MgSO_4$ або вітамін Е + метіонін + ПОБК – також забезпечували значуще збільшення площі листків (на 17,7–39,3 % залежно від варіанту).

Значущим є також вплив системи основного обробітку ґрунту на ефективність удобрення. Вожегова та співавтори показали, що на богарних землях і в умовах періодичних посух найвищі показники урожайності отримують за комбінованих систем обробітку та помірних доз NPK, тоді як за зрошення значення мінерального живлення суттєво зростає [36]. Автори зазначають, що оптимальна система живлення має поєднувати доступність елементів живлення та здатність ґрунту акумулювати вологу.

У сучасному землеробстві, де пріоритетами є підвищення якості продукції та раціональне використання ресурсів, соя (Glycine max L.) посідає важливе місце серед об’єктів наукових досліджень [1]. Проблема підвищення якості врожаю сої, зокрема збільшення вмісту олії та білка, набуває особливого значення, оскільки якісні показники визначають її цінність у харчовій промисловості, тваринництві та ряді переробних галузей [37]. Як високобілкова та високоолійна культура, соя поєднує харчову, кормову та технологічну цінність, що обумовлює необхідність оптимізації факторів вирощування для реалізації її потенціалу.

У літературних джерелах відзначається, що застосування добрив, передусім азотної складової, істотно впливає на якісні показники насіння сої. Вміст білка достовірно підвищувався зі збільшенням дози азоту: з 35,9 % за внесення $P_{60}K_{60}$ до 38,5 % у варіанті $N_{60}P_{60}K_{60}$. Подальше збільшення азоту до $N_{80}P_{60}K_{60}$ не спричиняло додаткового приросту цього показника, що свідчить про досягнення оптимального рівня забезпечення рослин азотом. За внесення $N_{40}P_{60}K_{60}$ вміст білка становив 37,6 %. Водночас уміст жиру зростав у межах від

21,5 до 22,0 %, тоді як варіант із $N_{60}P_{60}K_{60}$ характеризувався його незначним зменшенням до 21,2 %, що може бути пов’язано з перерозподілом асимілянтів на користь синтезу білкових сполук [38].

У проведених дослідженнях Вишнівським П. С. та Фурманом О. В. встановлено, що роздрібне (поетапне) внесення азотних добрив є більш ефективним порівняно з одноразовим їх використанням [39]. У контрольному варіанті без удобрення вміст білка становив 38,5 %, тоді як за внесення $N_{45}P_{60}K_{60}$ він зростав до 40,0 %. Застосування схеми $N_{30}P_{60}K_{60}$ + N_{15} забезпечувало формування насіння з вмістом білка на рівні 40,5 %. За збором білка ці варіанти демонстрували подібну ефективність — 0,99 та 1,03 т/га відповідно, що вказує на достатню віддачу азоту за дробного внесення. Водночас уміст жиру зменшувався від 21,0 до 19,9 % із підвищенням рівня удобрення, а вихід жиру з урожаю суттєво не різнився між варіантами, що може свідчити про слабшу реакцію цього показника на азотне живлення сої.

Узагальнюючи результати проаналізованих досліджень, можна зазначити, що оптимізація системи удобрення сої є багатофакторним завданням, яке охоплює вибір стартових доз NPK, застосування мікродобрив (зокрема бору та магнію), оцінку впливу ґрунтово-кліматичних умов, рівня зволоження та економічної доцільності. Незважаючи на значну кількість досліджень, питання адаптації норм і схем удобрення до умов Правобережного Лісостепу, зокрема Уманського району, за сучасної кліматичної нестабільності залишається актуальним і потребує додаткових експериментальних підтверджень.

РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Ботанічна і біологічна характеристика сої

Соя (Glycine max (L.) Merr.) належить до родини Бобові (Fabaceae) і є однією з найдавніших та найважливіших культур світового землеробства. Рослина є одно-річною, самозапильною, вирізняється значним поліморфізмом і широкою екологічною пластичністю, що забезпечує її поширення у різних ґрунтово-кліматичних умовах. Біологічною особливістю сої є здатність до симбіотичної азотфіксації завдяки формуванню бульбочок з бактеріями роду Bradyrhizobium, які забезпечують рослину атмосферним азотом та зменшують потребу в мінеральних азотних добривах [1, 40].

Коренева система стрижнева, добре розвинена, проникає у ґрунт на глибину 1,5–2,0 м, що забезпечує відносно високу здатність культури протистояти короткочасній ґрунтовій посусі. У той же час соя є надзвичайно чутливою до вологи у фазах цвітіння, формування бобів і наливання насіння, що підкреслюється у численних дослідженнях, дефіцит води в ці періоди може зумовлювати абортацію зав'язей і різке зниження продуктивності [41].

Соя проходить повний комплекс фенологічних фаз: проростання, поява сім'ядоль, формування трійчастих листків, бутонізація, цвітіння, формування бобів, наливання та дозрівання насіння. Для її росту та розвитку необхідна сума активних температур у межах 2200–3000 °С, залежно від групи стиглості [42]. Оптимальна температура проростання становить 18–22 °С, для цвітіння – 22–26 °С, тоді як температури понад 35 °С у поєднанні з дефіцитом вологи негативно впливають на запліднення та формування бобів [43].

Соя належить до культур короткого дня, тому фотоперіод значною мірою впливає на її темпи розвитку та тривалість вегетації. Сорти різних груп стиглості (ультраранні, ранні, середньостиглі, пізньостиглі) адаптовані до широтних зон вирощування, що забезпечує можливість її вирощування від тропічних регіонів до умов Лісостепу та Полісся України [43].

За морфологічними ознаками соя має прямостоячі або напівкущисті стебла висотою від 40 до 150 см. Листки – трійчасті, з добре розвиненою асиміляційною поверхнею. Квіти дрібні, білі або фіолетові, зібрані у китиці. Боби здебільшого опушені, містять від 1 до 4 насінин. Насіння характеризується високим вмістом білка (35–45 %) та олії (18–22 %), що визначає цінність культури у харчовій і кормовій промисловості [43].

Сприятливими ґрунтами для вирощування сої є чорноземи, сірі лісові та каштанові ґрунти з нейтральною або слабкокислою реакцією (pH 6,0–7,0) та середнім або високим вмістом рухомих форм фосфору і калію. На ґрунтах з низьким вмістом доступного фосфору спостерігається затримка розвитку кореневої системи, зниження кількості бобів і маси 1000 насінин [1, 20, 43].

Отже, соя є культурою з високим потенціалом продуктивності, проте чутливою до порушень у системі живлення та зволоження. Розуміння її ботанічних і біологічних особливостей є необхідною умовою для розробки ефективної системи удобрення, що є особливо актуальним за умов сучасних кліматичних викликів.

2.2. Характеристика сорту S007-Y4

Сорт S007-Y4 належить до категорії ультраранніх сортів сої, розроблених канадською селекцією NK Seeds і адаптованих до умов вирощування України. За даними виробника, період вегетації сорту складає приблизно 75 – 80 днів (HU ≈ 2300). Біологічною особливістю цього сорту є підвищена кількість бобів на рослині та значна частка чотиринасінних бобів (до 40 %). Висота рослин за середніх агрокліматичних умов України – 90 – 110 см, висота прикріплення нижнього бобу – 13–16 см, що забезпечує добру можливість механізованого збирання. Масса 1000 насінин коливається в межах 130–170 г, потенціал урожайності – 40–50 ц/га [44].

Сорт характеризується високим вмістом протеїну (понад 42,5 %) та адаптацією до стресових умов: холодних, вологих, з періодичними посушливими

фазами [44]. Стійкість до хвороб зумовлена впровадженим геномом Rps1c/Rps6 (залежно від джерела), що забезпечує захист від фітофтори та інших грибкових уражень [40]. Коренева система добре розвинена, що сприяє краще використовувати мінеральне живлення та стійкість до полягання [45].

Для вирощування цього сорту рекомендовано норму висіву 700 – 800 тис. шт/га та міжряддя 12,5 – 25 см [45]. Завдяки цим характеристикам сорт S007-Y4 добре вписується у технологію інтенсивного вирощування сої, зокрема за застосування систем мінерального живлення, що є предметом дослідження даної роботи.

Отже, соя як культура характеризується високою чутливістю до умов мінерального живлення та вологи, особливо у період генеративного розвитку, що визначає важливість оптимізації системи удобрення в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах. Сорт S007-Y4, обраний для досліджень, належить до ультраранніх та відзначається хорошою адаптивністю до стресових чинників, високим потенціалом урожайності та стабільними показниками якості, що робить його перспективним для вирощування на чорноземах опідзолених Уманського району. Наведені ботанічні, біологічні та сортові особливості підтверджують доцільність проведення досліджень щодо ефективності різних систем удобрення сої в умовах господарства ТОВ «Берестівець».

РОЗДІЛ 3. УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Ґрунтові умови

Дослідження проводилися на дослідній ділянці, яка є демонстраційним полем ТОВ «Берестівець» Уманського району Черкаської області, де ґрунтовий покрив представлений чорноземами опідзоленими малогумусними середньосуглинковими. За класифікацією ґрунтів України ці ґрунти належать до підтипу чорноземів опідзолених, сформованих на лесових відкладах, а за міжнародною класифікацією WRB відповідають типу Phaeozems (Luvic) [46].

Морфологічна будова профілю чорнозему опідзоленого характеризується наявністю гумусового горизонту потужністю 35–45 см, поступовим переходом до ілювіального горизонту з проявами часткового вилуговування колоїдів і ознак опідзолення у верхній частині профілю. Ґрунти цього типу відзначаються високою потенційною родючістю, проте схильні до зниження забезпеченості рухомими формами фосфору та калію внаслідок міграційно-ілювіальних процесів та періодичних перезволожень у весняний період [47].

Профіль ґрунту має таку загальну структуру:

1. A_p (орний, 0–28 см) – темно-сірий, зернистий або дрібногрудочкуватий, пухкий, високий вміст гумусу (3,0–3,5 %).
2. A_1 (28–40 см) – сірувато-темний, з ознаками опідзолення, слабка ризосфера.
3. AB (40–55 см) – світліший перехідний горизонт, структурно оструктурений, з окремими включеннями ілу.
4. B (ілювіальний, 55–90 см) – буро-сірий, щільніший, ознаки вторинного накопичення глинистих частинок.
5. BC (90–120 см і глибше) – перехід до материнської породи (лес), карбонати зазвичай з’являються з глибини 95–120 см.

Орний шар ґрунту (0–20 см), на якому закладено дослід, формується під впливом тривалого рільничого використання та характеризується зернистою або дрібногрудочкуватою структурою [47, 48], задовільною водопроникністю та

доброю аерацією. Реакція ґрунтового розчину знаходиться в межах нейтральної, що є оптимальним для функціонування ризобіальних бактерій та засвоєння елементів живлення соєю.

Перед закладанням досліду було відібрано ґрунтові зразки з глибини 0–20 см, які проаналізовано у відповідності до загальноприйнятих методик [49, 50]. Отримані результати агрохімічного аналізу (табл. 1) свідчать про середній рівень забезпеченості гумусом, нейтральну реакцію ґрунтового розчину, низький вміст доступного азоту, середній рівень забезпеченості фосфором і підвищену забезпеченість калієм. Сума ввібраних основ перебуває на високому рівні, що є характерним для ґрунтів лісостепової зони, тоді як гідролітична кислотність – низька, що додатково підтверджує високий ступінь насиченості основами.

Таблиця 1

Агрохімічна характеристика чорнозему опідзоленого
(орний шар 0–20 см), дослідне поле ТОВ «Берестівець»

Показник	**Значення**	**Рівень забезпеченості / характеристика**
Гумус, % (за Тюріним)	3,0	середній
pH сольової витяжки (KCl)	6,2	нейтральна реакція ґрунтового розчину
Нітрифікаційна здатність (за Кравковим), мг $N\text{-}NO_3$/кг	7	низька
Рухомий фосфор (P_2O_5), мг/кг (за Чириковим)	82	середня забезпеченість
Рухомий калій (K_2O), мг/кг (за Чириковим)	105	підвищена забезпеченість
Сума ввібраних основ, ммоль(+)/100 г	24,0	висока
Гідролітична кислотність, ммоль(+)/100 г	1,8	низька
Ступінь насиченості основами, %	≈93 %	високий

Отже, ґрунтові умови дослідної ділянки можна охарактеризувати як сприятливі для вирощування сої, проте з необхідністю корекції мінерального живлення, насамперед щодо азоту та частково фосфору. Підвищений вміст калію та нейтральний pH створюють оптимальні умови для росту культури та

діяльності бульбочкових бактерій, що є важливим у формуванні біологічного азоту. Отримана агрохімічна характеристика обґрунтовує вибір системи удобрення, дослідження якої проводилося у подальших розділах роботи.

3.2. Погодні умови

Метеорологічні умови в період проведення досліджень істотно відрізнялися від середньобагаторічних показників як за температурним режимом, так і за зволоженням, що вплинуло на формування врожаю сої в умовах ТОВ «Берестівець».

Детальні дані щодо середньомісячних температур, кількості атмосферних опадів та вологості повітря у порівнянні з середніми багаторічними показниками представлено у таблицях 2, 3, 4.

Таблиця 2

Середньомісячна температура повітря, °C

(2024–2025 рр., за даними метеостанції Умань)

Період	МІСЯЦІ												Сума
	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
2024–2025	19,7	10,8	2,6	0,4	2,1	–3,9	6,7	10,3	13,1	19,3	22,4	19,7	**123,2**
Середньобагаторічна	14,5	8,3	2,8	–1,8	–3,4	–2,3	2,5	9,7	15,4	19,0	20,9	20,1	**105,7**

Таблиця 3

Кількість опадів, мм

(2024–2025 рр., за даними метеостанції Умань)

Період	МІСЯЦІ												Сума
	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
2024–2025	12,1	99,4	45,1	61,0	12,4	7,8	12,5	26,9	101,8	11,2	112,3	23,0	**525,5**
Середньобагаторічна	61	43	43	40	38	34	36	41	52	81	68	49	**586**

Осінь 2024 р. характеризувалася різко нерівномірним розподілом опадів. У вересні випало лише 12,1 мм атмосферних опадів проти 61 мм за середньобагаторічними даними, що зумовило недостатнє зволоження орного

шару ґрунту наприкінці вегетації попередника та на початку осіннього періоду. Натомість у жовтні опади були надлишковими (99,4 мм проти 43 мм у нормі), що частково компенсувало дефіцит вологи, тоді як у листопаді кількість опадів (45,1 мм) була близькою до середньобагаторічної. Середні місячні температури у вересні та жовтні (19,7 і 10,8 °С відповідно) перевищували багаторічні значення (14,5 і 8,3 °С), що свідчить про теплу, затяжну осінь.

Зимовий період 2024–2025 рр. був відносно м'яким і малосніжним. У грудні середня температура повітря становила 0,4 °С проти -1,8 °С за нормою, у січні – 2,1 °С при середньобагаторічному значенні -3,4 °С, що вказує на відсутність стійкого морозного періоду. Водночас кількість опадів у січні, лютому та березні істотно не дотягувала до норми (12,4; 7,8; 12,5 мм відповідно проти 38; 34; 36 мм), що зумовило недостатнє поповнення запасів ґрунтової вологи в осінньо-зимовий та ранньовесняний періоди. Відносна вологість повітря взимку залишалася високою (86–90 %), однак це не супроводжувалося істотними опадами, тому запаси продуктивної вологи у ґрунті були обмеженими.

Таблиця 4

Відносна вологість повітря, %

(2024–2025 рр., за даними метеостанції Умань)

Період	МІСЯЦІ												Середня за рік
	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
2024–2025	56	80	80	90	86	74	67	61	74	63	65	63	**71,6**
Середньобагаторічна	73	80	87	88	86	85	82	68	64	66	67	68	**76,0**

Весняний період 2025 р. розпочався з підвищеного температурного фону. У березні середня температура становила 6,7 °С (при 2,5 °С за нормою), у квітні — 10,3 °С (проти 9,7 °С), тоді як кількість опадів у березні та квітні була нижчою за середньобагаторічну (12,5 і 26,9 мм відповідно проти 36 і 41 мм). Це сприяло більш ранньому прогріванню ґрунту, про те травневі приморозки зробили своє діло, що вплинуло на подальшу врожайність сої. Окрім того кількість опадів не забезпечила достатньої вологи орного шару перед сівбою.

Безпосередньо у період вегетації сої (травень–серпень 2025 р.) погодні умови характеризувалися поєднанням загалом достатньої кількості опадів із різко нерівномірним їх розподілом у часі та коливаннями температурного режиму. У травні, коли було проведено сівбу та формувалися сходи, середня температура повітря становила 13,1 °С, що на 2,3 °С нижче від багаторічного показника (15,4 °С), а сума опадів досягла 101,8 мм проти 52 мм у нормі. Це сприяло дружній появі сходів, але за надмірного зволоження могло викликати періодичне перезволоження верхнього шару ґрунту.

Червень, на який припадає інтенсивний ріст вегетативної маси та формування трійчастих листків, відзначався температурним режимом, близьким до середньобагаторічного (19,3 °С проти 19,0 °С), проте кількість опадів була надзвичайно низькою – лише 11,2 мм проти 81 мм за нормою. За умов підвищеного випаровування це призвело до формування ґрунтової та повітряної посухи, що негативно позначилося на рості рослин і закладанні генеративних органів. Відносна вологість у червні (63 %) була дещо нижчою за середньобагаторічну (66 %), що додатково посилювало дефіцит вологи.

У липні, коли тривало цвітіння та інтенсивне формування бобів, середня температура становила 22,4 °С, що на 1,5 °С вище норми (20,9 °С), а кількість опадів була істотно більшою від середньобагаторічної (112,3 мм проти 68 мм). За таких умов спостерігалося поєднання підвищених температур з частими дощами, що сприяло активному росту рослин та частковій компенсації дефіциту вологи, який сформувався у червні.

Серпень, на який припадає наливання та достигання бобів, характеризувався дещо нижчою середньою температурою (19,7 °С проти 20,1 °С за нормою) та недостатньою кількістю опадів – 23,0 мм при середньобагаторічному показнику 49 мм. Відносна вологість у цей період також була нижчою (63 % проти 68 %), що сприяло прискоренню достигання, але за умов попередніх стресів посилювало абортацію частини зав’язей і зменшувало масу 1000 насінин.

У цілому за вегетаційний період (травень–серпень) сума опадів у 2025 р. становила близько 248 мм, що наближається до середньобагаторічного рівня (приблизно 250 мм), однак їх розподіл був вкрай нерівномірним. Надлишок опадів у травні та липні поєднувався з різким дефіцитом у червні та серпні. Такий характер зволоження у поєднанні з періодами підвищених температур зумовив стресові умови для сої, особливо у фазах закладання бобів та наливання насіння, що, ймовірно, стало однією з причин абортації частини зав'язей та відносно невисокого рівня урожайності в умовах господарства.

Отже, погодні умови 2024–2025 рр. можна охарактеризувати як контрастні та стресові для вирощування сої в цілому близьких до норми сум опадів у вегетаційний період. Вирішальне значення мали дефіцит вологи в червні та серпні, підвищені температури влітку, що підвищує вимоги до оптимізації мінерального живлення і системи удобрення для пом'якшення впливу посухи на формування врожаю.

3.3. Схема досліду

Польовий дослід із вивчення впливу мінеральних добрив на продуктивність сої проводили як однофакторний, за схемою рандомізованих блоків із чотирикратною повторністю. Схема досліду представлена в таблиці 5 і включала в себе 6 варіантів.

Для всіх варіантів досліду застосовували однакову агротехніку, однаковий попередник (пшениця озима), один і той самий сорт сої S007-Y4, однакові строки сівби та норми висіву, систему захисту рослин. Різниця між варіантами полягала лише в системі мінерального живлення, що дозволяє виділити вплив саме удобрення на формування врожайності.

Дослід закладали за схемою рандомізованих блоків. Усі 6 варіантів розміщували у кожному повторенні випадковим чином. Кількість повторень – чотириразова.

Таблиця 5

Схема досліду з вивчення ефективності варіантів удобрення

Варіант	Характеристика варіанту
1. Контроль (без добрив)	Мінеральні добрива не вносили (фон природної родючості ґрунту).
2. Фон+$N_{30}P_{30}K_{30}$	Ґрунтове удобрення $N_{30}P_{30}K_{30}$, кг д. р./га (нітроамофоска 16:16:16), суцільне внесення під передпосівну культивацію.
3. Фон+$N_{30}P_{30}K_{30}$ + B	Ґрунтове удобрення $N_{30}P_{30}K_{30}$, (нітроамофоска 16:16:16), суцільне внесення під передпосівну культивацію + позакореневе підживлення: борвмісне мікродобриво (B+Mo) – 1,0 л/га у фазу 3 трійчастих листків.
4. Фон+$N_{60}P_{60}K_{60}$	Ґрунтове удобрення $N_{60}P_{60}K_{60}$, кг д. р./га (нітроамофоска 16:16:16 у підвищеній нормі, суцільне внесення під передпосівну культивацію).
5. Фон+$N_{60}P_{60}K_{60}$ + B	Ґрунтове удобрення $N_{60}P_{60}K_{60}$, (нітроамофоска 16:16:16 у підвищеній нормі, суцільне внесення під передпосівну культивацію) + позакореневе підживлення: борвмісне мікродобриво (B+Mo) – 1,0 л/га у фазу 3 трійчастих листків.
6. Фон+$N_{60}P_{60}K_{60}$ + B+ Mg + мультикомплекс	Ґрунтове удобрення $N_{60}P_{60}K_{60}$, кг д. р./га (нітроамофоска 16:16:16 у підвищеній нормі, суцільне внесення під передпосівну культивацію) + позакореневі підживлення (бакова суміш у фазу 3 трійчастих листків): бор + молібден – 1,0 л/га; Оракул Мультикомплекс – 1,0 л/га; сульфат магнію – 3,0 кг/га; ПАР (Коутер) – 0,1 л/га.

Орієнтовна площа посівної ділянки одного варіанта – 30 м². Облікова площа – 20–25 м² (без крайніх рядків). Розміщення повторень – поперек напрямку основного агрогенного градієнта (рельєфу, зміни механічного складу), що мінімізує вплив неоднорідності ґрунтового покриву на результати досліду. Такий підхід до побудови схеми забезпечує можливість проведення дисперсійного аналізу, оцінки істотності різниць між варіантами та встановлення оптимальної системи удобрення сої в умовах чорнозему опідзоленого Уманського району.

3.4. Агротехніка вирощування сої у досліді

Агротехнологічні заходи у досліді проводили відповідно до загальноприйнятих рекомендацій для Правобережного Лісостепу України та виробничих стандартів ТОВ «Берестівець», яке характеризується високим рівнем технічного забезпечення та наявністю сучасних енергонасичених агрегатів (John Deere, Lemken, Horsch та ін.).

Попередником сої була пшениця озима. Після збирання попередника виконували відразу ж основний обробіток ґрунту – оранку на глибину 20–22 см оборотним плугом у зв'язці трактор: John Deere 8320R + плуг: Lemken VariOpal 7 (7-корпусний, оборотний).

Оранка забезпечувала загортання післяжнивних решток, руйнування ущільнень та створення рівномірного орного шару під наступні операції.

На весні, після дозрівання ґрунту та передпосівного вирівнювання структурно-агрофізичних властивостей, проводили передпосівну культивацію на глибину 4–6 см у зв'язці Lemken Kompaktor K-600 +Трактор: John Deere 7930.

Компактор забезпечував інтенсивне вирівнювання поверхні, формування дрібногрудочкуватої структури, розпушування та якісне підготовлення ґрунту до сівби.

Сівбу сої сорту S007-Y4 проводили 03 травня 2025 р. сівалкою Horsch Maestro 8 DV (точного висіву) у зв'язці з трактором John Deere 6155M за мінімальної вологості верхнього шару ґрунту, що відповідало агротехнічним вимогам ранньостиглих сортів.

Норма висіву становила 120 кг/га, що відповідало 550–600 тис. схожих насінин/га. Насіння було попередньо протруєне комплексним фунгіцидно-бактеріальним протруйником (із урахуванням інокулянта для активізації симбіотичної азотфіксації).

Глибина загортання насіння була в межах 3,0–3,5 см залежно від структури ґрунту та вмісту доступної вологи.

Міжряддя становило 45 см, що відповідає технології вирощування ультраранніх сортів сої і сприяє кращому освітленню та формуванню фотосинтетичної поверхні.

У відповідності до варіантів досліду вносили нітроамофоску (16:16:16) під передпосівну культивацію. Позакореневі підживлення (бор, бор+молібден, мультикомплекс, $MgSO_4$, ПАР) у фазу 3 трійчастих листків здійснювали згідно схеми досліду (розділ 3.3).

Внесення здійснювали обприскувачем John Deere R962i PowrSpray з довжиною штанги 36 м. Норма витрати робочої рідини: 250–300 л/га.

Система захисту рослин передбачала гербіцидну обробку гліфосатом (Раундап, Геліос Екстра) по стерні перед сівбою для знищення падалиці та бур'янів. Фунгіцидно-інсектицидний захист передбачав внесення Фосорган Дуо (АХТ) — 9–12 серпня; Кораген 200 SC – 0,2 л/га; Нурел Д – 1 л/га (у сумішах) у період активного росту (червень–липень), так як було зафіксовано появу люцернової совки та інших листогризучих шкідників (Рис. 1 та Рис. 2). Захист спрямовано на збереження листкового апарату та зниження абортації квіток і бобів у стресових погодних умовах. Протягом вегетації виконували: міжрядний обробіток культиватором Kongskilde Vibro Crop, якщо дозволяли умови; моніторинг фітосанітарного стану через 7–10 днів; контроль засміченості та стану формування бульбочок.

Збирання врожаю проводили 8 вересня 2025 р., після досягнення базової вологості зерна (~9 %). Комбайн: John Deere S770 із соєвою жаткою Ziegler 625 Flex. Збирання здійснювали окремо по кожному варіанту досліду з урахуванням облікових площ. Урожайність визначали шляхом зважування зерна з кожної ділянки з подальшим перерахунком на кондиційну вологість та гектарну норму.

Отже, агротехніка вирощування сої в досліді відповідала сучасним виробничим стандартам і забезпечувала однакові умови для всіх варіантів, що дозволило виділити вплив саме системи удобрення на показники росту, розвитку та продуктивності сорту S007-Y4 у стресових кліматичних умовах 2025 р.



Рис. 1. Характер пошкодження бобів сої сорту S007-Y4 гусеницями люцернової совки (Heliothis viriplaca Hufn.).



Рис. 2. Характер пошкодження бобів сої сорту S007-Y4 гусеницями люцернової совки (Heliothis viriplaca Hufn.) вигляд на рослині

3.5. Методика проведення досліджень

Методика виконання досліду включала систему спостережень, вимірювань та лабораторних аналізів, спрямованих на оцінку впливу різних рівнів мінерального удобрення на ріст, розвиток, фотосинтетичні показники та продуктивність сої сорту S007-Y4 в умовах чорнозему опідзоленого. Усі дослідження виконували відповідно до наукових досліджень в агрономії [49, 50].

Перед закладенням досліду проводили відбір ґрунтових зразків із шару 0–20 см методом «конверта» у 15 точках ділянки.

Агрохімічні аналізи виконувалися на кафедрі агрохімії і ґрунтознавства Уманського національного університету за такими методиками:

- Вміст гумусу в ґрунті визначали за методом Тюріна у модифікації Кононової–Бєльчевої.
- Нітрифікаційна здатність визначали методом Кравкова при 14 денному компостуванні з подальшим визначенням за допомогою універсального іономіра ЕВ-74 та іоно-селективного електроду
- Вміст рухомого фосфору (P_2O_5) та калію (K_2O) визначали за методом Чирикова в модифікації ЦИНАО.
- Обмінну кислотність pH(KCl) визначали потенціометричним методом за допомогою універсального іономіра ЕВ-74
- Гідролітична кислотність (Нг) визначали за методом Каппена.
- Сума ввібраних основ визначали за методом Каппена–Гільковицем.
- Ступінь насиченості основами визначали розрахунково.

Метою агрохімічної характеристики було встановлення базового фону забезпеченості ґрунту елементами живлення для коректного оцінювання ефективності внесених добрив.

Упродовж вегетації проводили регулярні обліки фенологічних фаз: поява сходів; формування 1-го, 3-го та 5-го трійчастих листків; гілкування; бутонізація;

цвітіння; формування бобів; наливання насіння; достигання. Обліки проводили на 25 рослинах кожного варіанта, вибраних діагональним методом.

У фазах 3-х трійчастих листків, цвітіння та наливання насіння визначали: висоту рослин (рулеткою, см); діаметр стебла (електронним штангенциркулем, мм); кількість гілок; кількість вузлів; площу листкової поверхні (портативним листкоміром SunScan); інтенсивність фотосинтезу (за формулою Ліхочвора через індекс листкової поверхні). Біометричні вимірювання проводили у 15-кратній повторності.

Елементи структури врожаю проводили у фазу повної стиглості (R8) визначали такі показники:

1. Густота рослин перед збиранням, шт./м².
2. Кількість бобів на рослині.
3. Кількість насінин у бобі.
4. Маса насіння з рослини, г.
5. Маса 1000 насінин, г (за ДСТУ 4964:2008).

Відбір рослин здійснювали на ділянці 1 м² у трьох місцях облікової площі кожного варіанта.

Урожайність визначали методом суцільного збирання облікової площі кожного варіанта досліду із подальшим перерахунком на гектар та корекцією до базової вологості 9 %.

Маса насіння визначалась на електронних вагах із точністю 1 г. Урожайність перераховували за формулою:

$$У = \frac{m \times 10000}{S} \times \frac{100 - W\text{ф}}{100 - W\text{б}}$$

де: m – маса насіння з ділянки, кг; S – облікова площа, м²; Wф – фактична вологість, %; Wб – базова вологість (9 %).

Вивчення якості насіння здійснювали за допомогою універсального аналізатора зерна Infratec 1241 (ДСТУ 4117:2007), який розміщений на кафедрі харчових технологій. Вміст смітної та олійної домішок визначали по ДСТУ 4964:2008 – СОЯ [51].

Для оцінки істотності різниць між варіантами застосовували дисперсійний аналіз (ANOVA) з подальшим визначенням $HIP_{0,5}$ ($LSD_{0.5}$) за Доспєховим. Також здійснювали розрахунок коефіцієнтів варіації, середнього квадратичного відхилення, кореляційний аналіз між: елементами структури врожаю, фотосинтетичною продуктивністю, погодними умовами, урожайністю. Статистичні обчислення проводили у програмах Excel та STATISTICA 10.0.

Отже, методика дослідження була побудована відповідно до міжнародних і національних вимог до польових експериментів та дала можливість отримати достовірну інформацію про вплив різних систем удобрення на ріст, розвиток і продуктивність сої сорту S007-Y4 у специфічних кліматичних умовах 2025 року.

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Фенологічні спостереження та ріст рослин сої залежно від системи удобрення

Ріст і розвиток рослин сої сорту S007-Y4 у 2025 році суттєво залежали як від погодних умов вегетаційного періоду, так і від рівня мінерального живлення. За наявних стресових факторів (надмірне зволоження у травні, різкий дефіцит опадів у червні, надмірні опади в липні та посуха в серпні) генетичний потенціал висоти сорту (90–110 см) повністю реалізований не був: фактична висота рослин у фазу повної стиглості становила 60–72 см залежно від варіанта удобрення.

У фазу ВВСН 11 (поодинокі трійчасті листки) висота рослин була майже однаковою у всіх варіантах (11–12 см), що свідчить про незначний вплив мінерального живлення на початкові етапи росту за умов надмірного зволоження у травні. Надалі, починаючи з фази ВВСН 61 (початок цвітіння), різниця між варіантами ставала більш помітною, що узгоджується з посиленням ролі азотного та фосфорно-калійного живлення на фоні наростання стресу від ґрунтової та повітряної посухи у червні.

Таблиця 6

Динаміка висоти рослин сої сорту S007-Y4 залежно від системи удобрення, см

Варіант досліду	ВВСН 11 (сходи–1-й трійчастий листок)	ВВСН 61 (початок цвітіння)	ВВСН 71 (початок наливання насіння)	ВВСН 90 (повна стиглість)
1. Контроль (без добрив)	11	24	52	60
2. $N_{30}P_{30}K_{30}$	11	26	55	64
3. $N_{30}P_{30}K_{30}$ + B	11	27	57	66
4. $N_{60}P_{60}K_{60}$	12	28	58	68
5. $N_{60}P_{60}K_{60}$ + B	12	29	60	70
6. $N_{60}P_{60}K_{60}$ + B + Mg + мульти-комплекс	12	30	62	72

Як видно з таблиці 6, у фазу ВВСН 61 висота рослин на контрольному варіанті (без добрив) становила 24 см, тоді як на фоні $N_{30}P_{30}K_{30}$ та $N_{60}P_{60}K_{60}$ відповідно 26 і 28 см. Застосування борвмісного мікродобрива на фоні $N_{30}P_{30}K_{30}$

(варіант 3) призвело до збільшення висоти рослин до 27 см, а на фоні $N_{60}P_{60}K_{60}$ (варіант 5) – до 29 см, що свідчить про позитивний вплив бору на ріст надземної маси в умовах стресу. Максимальні значення висоти у фазу ВВСН 61 (30 см) відмічено на варіанті з поєднанням $N_{60}P_{60}K_{60}$, бору, магнію та комплексного мікродобрива (варіант 6).

У фазу ВВСН 71 (початок наливання насіння) різниця між варіантами ще більше зростала: на контрольному варіанті висота рослин становила 52 см, тоді як на варіантах з мінеральним удобренням – 55–58 см, із додаванням бору – 57–60 см. Найвищі рослини (62 см) сформувалися за комплексного застосування $N_{60}P_{60}K_{60}$ + B + Mg + мультикомплексного добрива, що вказує на підвищення стійкості рослин до посухи в період наливання бобів.

У фазу повної стиглості (ВВСН 90) висота рослин на контрольному варіанті становила 60 см, а на варіантах з мінімальною дозою $N_{30}P_{30}K_{30}$ – 64 см. Застосування бору на фоні $N_{30}P_{30}K_{30}$ збільшило висоту до 66 см. На варіантах із підвищеною дозою $N_{60}P_{60}K_{60}$ висота рослин сягала 68–70 см, тоді як максимальне значення (72 см) спостерігалося на варіанті $N_{60}P_{60}K_{60}$ + B + Mg + мультикомплекс, що узгоджується з виробничими даними господарства, де середня висота рослин за інтенсивної технології становила близько 70 см.

Отже, за контрастних погодних умов 2025 року висота рослин сої сорту S007-Y4 суттєво залежала від рівня мінерального живлення. Збільшення доз NPK у поєднанні з бором, магнієм та комплексними мікродобривами сприяло зростанню висоти на 8–12 см порівняно з контролем, що свідчить про посилення ростових процесів і часткову компенсацію негативного впливу посухи, особливо в період інтенсивного росту та наливання насіння.

4.2. Елементи структури врожаю сої залежно від системи удобрення

Елементи структури врожаю є фундаментальною характеристикою, яка дозволяє оцінити вплив системи удобрення на формування продуктивності рослин. У 2025 році розвиток сої проходив в умовах підвищеної температури та нерівномірного зволоження, що особливо проявилося в періоди цвітіння та

наливання бобів (табл.7). Дефіцит вологи у червні та серпні призвів до часткової абортації зав’язі, зменшення кількості бобів на рослині та зниження маси 1000 насінин на варіантах із недостатнім мінеральним живленням.

Таблиця 7

Елементи структури врожаю сої сорту S007-Y4 залежно від системи удобрення

Варіант досліду	Густота рослин, шт./м²	Бобів на рослині, шт.	Насінин у бобі, шт.	Маса 1000 насінин, г
1. Контроль (без добрив)	34	16	2,0	118
2. $N_{30}P_{30}K_{30}$	35	17	2,0	120
3. $N_{30}P_{30}K_{30}$ + B	36	18	2,1	122
4. $N_{60}P_{60}K_{60}$	37	19	2,1	124
5. $N_{60}P_{60}K_{60}$ + B	38	21	2,1	126
6. $N_{60}P_{60}K_{60}$ + B + Mg + мультикомплекс	39	22	2,2	128

На контрольному варіанті густота стояння рослин перед збиранням становила лише 34 шт./м², що зумовлено як природною варіабельністю параметрів проростання насіння, так і впливом посушливого червня. Середня кількість бобів на рослину становила 16 шт., а маса 1000 насінин – 118 г, що характерно для сої, яка зазнала вологового стресу в період наливання зерна.

Внесення основного добрива у дозі $N_{30}P_{30}K_{30}$ сприяло незначному підвищенню густоти рослин (до 35 шт./м²) та збільшенню кількості бобів до 17 шт./росл., однак істотного зростання маси 1000 насінин на цьому варіанті не спостерігалося. Натомість застосування бору разом з дозою $N_{30}P_{30}K_{30}$ позитивно вплинуло на процеси запліднення та утримання зав’язі: кількість бобів зросла до 18 шт., а маса 1000 насінин – до 122 г. Це узгоджується з біологічною роллю бору у формуванні генеративних органів сої та забезпеченні нормального функціонування меристем.

Збільшення дози мінерального живлення до $N_{60}P_{60}K_{60}$ забезпечило істотне покращення структури врожаю. Кількість бобів на рослину зросла до 19 шт., густота – до 37 шт./м², а маса 1000 насінин – до 124 г. Комбінування цього фону

з бором (варіант 5) призвело до подальшого нарощування показників, а кількість бобів становила 21 шт., а маса 1000 насінин досягла 126 г.

Максимальні величини елементів структури врожаю одержано на варіанті з внесенням $N_{60}P_{60}K_{60}$ у поєднанні з бором, магнієм та комплексними мікродобривами (варіант 6). Саме цей варіант забезпечив найвищі показники інтенсивності фотосинтезу та рівня забезпеченості елементами живлення. У цьому варіанті кількість бобів зросла до 22 шт./росл., маса 1000 насінин – до 128 г, густота – до 39 шт./м². Поєднання магнію та комплексних мікроелементів сприяло кращому наливанню насіння, що є критично важливим у посушливих умовах кінця літа.

Отже, застосування мінеральних добрив суттєво вплинуло на всі елементи структури врожаю. Найбільше значення мали повні дози NPK у поєднанні з бором, магнієм та комплексним мікродобривом, що забезпечило максимально можливий рівень формування генеративних органів і маси насіння в умовах стресового 2025 року. Найнижчі показники отримано на контролі, тоді як зростання дози NPK та включення мікроелементів сприяли покращенню густоти стояння рослин, збільшенню кількості бобів на рослині та маси 1000 насінин.

4.3. Урожайність сої залежно від системи удобрення

Урожайність сої є інтегральним показником, що відображає дію всіх чинників середовища та технології вирощування. В умовах 2025 року формування врожаю відбувалося під впливом поєднання контрастних погодних умов: надмірного зволоження у травні, дефіциту вологи в червні, потепління впродовж липня–серпня та короткочасних періодів повітряної посухи (табл.8). Такі умови негативно позначилися на процесах цвітіння, запліднення та наливання бобів, що особливо проявилося на варіантах із недостатнім рівнем мінерального живлення.

На контрольному варіанті (без добрив) урожайність становила лише 1,25 т/га, що відповідає стресовим умовам року та середньому рівню забезпеченості чорнозему опідзоленого доступними формами елементів живлення. Низька маса

1000 насінин (118 г), обмежена кількість бобів на рослині (16 шт.) та знижена густота перед збиранням зумовили мінімальні показники продуктивності.

Таблиця 8

Урожайність сої сорту S007-Y4 залежно від системи удобрення, т/га

Варіант досліду	Урожайність, т/га	Приріст до контролю, т/га	Приріст, %
1. Контроль (без добрив)	**1,25**	–	–
2. $N_{30}P_{30}K_{30}$	**1,62**	0,37	+29,9
3. $N_{30}P_{30}K_{30}$ + B	**1,85**	0,60	+47,8
4. $N_{60}P_{60}K_{60}$	**2,13**	0,88	+70,2
5. $N_{60}P_{60}K_{60}$ + B	**2,30**	1,06	+84,0
6. $N_{60}P_{60}K_{60}$ + B + Mg + мульти-комплекс	**2,46**	1,21	+97,1
$НІР_{0,5}$	**0,13**	–	–

Застосування $N_{30}P_{30}K_{30}$ (варіант 2) забезпечило приріст урожайності до 1,62 т/га, що на 0,37 т/га (29,9 %) перевищило контроль. Покращення живлення у ранні фази розвитку сприяло зростанню кількості бобів та частковій компенсації впливу посухи. Однак дія цього варіанту була лімітована дефіцитом бору, що проявляється у зменшенні життєздатності пилку та підвищеній абортації зав'язі.

Поєднання внесення $N_{30}P_{30}K_{30}$ з бором (варіант 3) сприяло істотному збільшенню урожайності до 1,85 т/га, що забезпечило приріст 0,60 т/га (47,8 %) до контролю. Присутність бору зменшила втрати генеративних органів у період цвітіння та забезпечила кращий налив насіння, що відобразилося у зростанні маси 1000 насінин до 122 г.

Застосування повної дози NPK у варіанті $N_{60}P_{60}K_{60}$ забезпечило найвищий приріст по основному добриву. Урожайність за цим варіантом становила 2,13 т/га, що на 0,88 т/га (70,2 %) більше контролю. Умови живлення були оптимальними для формування генеративних органів, що підтверджується збільшенням кількості бобів до 19 шт./росл. і маси 1000 насінин до 124 г.

Внесення бору разом з повною дозою NPK (варіант 5) ще більше підвищило урожайність – 2,30 т/га, приріст становив 1,06 т/га (84 %). Це пояснюється критично важливою роллю бору у синтезі вуглеводів та формуванні

репродуктивних органів, а також зменшенням абортації бобів під час періоду високих температур.

Максимальні показники продуктивності отримано на варіанті з внесенням $N_{60}P_{60}K_{60}$ у поєднанні з бором, магнієм та комплексним мікродобривом. Урожайність у цьому варіанті становила 2,46 т/га, що на 1,21 т/га (97,1 %) перевищувало контроль. Магній сприяв підвищенню інтенсивності фотосинтезу, а комплексні мікроелементи покращили енергетичний обмін та забезпечили повніший налив насіння, що підтверджується максимальною масою 1000 насінин (128 г).

Статистична обробка показала, що всі варіанти удобрення мають достовірний вплив на урожайність порівняно з контролем. Значення $НІР_{0,5}$ (0,13 т/га) підтверджує істотність відмінностей між варіантами, особливо між контрольним та варіантами із застосуванням мікроелементів.

В цілому мови року та система живлення суттєво вплинули на урожайність сої. Найнижчі показники одержано на контролі, що відображає дефіцит доступного азоту та фосфору в чорноземах опідзолених за стресових погодних умов. Внесення NPK забезпечило істотне підвищення продуктивності, однак найбільший ефект отримано при поєднанні мінерального живлення з бором, магнієм та комплексом мікроелементів, що сприяло покращенню генеративних процесів та формуванню повноцінного насіння. Максимальна урожайність – 2,46 т/га – була зафіксована на варіанті $N_{60}P_{60}K_{60}$ + B + Mg + мультикомплекс, що майже удвічі перевищує контроль.

4.4. Якість зерна сої

Якість зерна сої визначається комплексом біохімічних показників, серед яких основними є вміст сирого протеїну, олійність, частка пошкодженого, морщеного та зеленого насіння, а також базова вологість під час збирання. Формування цих показників значною мірою залежить від умов живлення рослин та погодних чинників року.

У 2025 році якість зерна формувалася за умов строкатого зволоження, високих температур у період наливання бобів та помірної забезпеченості ґрунту

елементами живлення. Для контролю характерними були підвищені частки морщених та зелених насінин, що пов'язано з поєднанням дефіциту вологи у червні та недостатнього азотно-фосфорного живлення. Вміст протеїну на контролі становив 38,5 %, олійності – 21,4 %, що відображає типовий рівень за умов обмеження живлення та стресу.

Таблиця 9

Показники якості зерна сої залежно від системи удобрення

Варіант	Білок, %	Олія, %	Бите, %	Морщене, %	Зелене, %	Олійна домішка, %	Смітна домішка, %	Вологість, %
1. Контроль (без добрив)	38,5	21,4	1,4	1,1	10,0	12,5	1,3	9,0
2. $N_{30}P_{30}K_{30}$	39,0	21,1	1,3	1,0	9,0	11,3	1,3	9,2
3. $N_{30}P_{30}K_{30}$ + B	39,4	20,9	1,2	1,0	8,5	10,7	1,3	9,2
4. $N_{60}P_{60}K_{60}$	39,7	20,7	1,2	0,9	8,0	10,1	1,2	9,3
5. $N_{60}P_{60}K_{60}$ + B	40,0	20,5	1,1	0,9	7,5	9,5	1,2	9,4
6. $N_{60}P_{60}K_{60}$ + B + Mg + мульти-комплекс	40,3	20,3	1,0	0,8	6,5	8,3	1,2	9,5

Застосування $N_{30}P_{30}K_{30}$ сприяло підвищенню вмісту білка до 39,0 %, проте олійність дещо зменшилася до 21,1 %, що відповідає відомій закономірності зворотного зв’язку між білком та олією. Покращення живлення зменшило частку зелених насінин до 9,0 %.

Поєднання $N_{30}P_{30}K_{30}$ з бором (варіант 3) сприяло повнішому наливанню насіння, підвищенню вмісту білка до 39,4 %, але олійність зменшилася до 20,9 %. Частка дефектних насінин зменшилась, що пов’язано з покращенням репродуктивних процесів у фазі цвітіння.

На варіантах з підвищеною дозою $N_{60}P_{60}K_{60}$ вміст білка підвищився до 39,7–40,0 %, а олійність закономірно знизилась до 20,7–20,5 %. Внесення бору разом із NPK зменшило частку зелених насінин (до 7,5–8 %).

Максимальний вміст білка отримано на варіанті з $N_{60}P_{60}K_{60}$ + B + Mg + мультикомплекс: 40,3 %, що відповідає літературному діапазону для

високобілкових сортів. Висока інтенсивність фотосинтезу та сприятливе мікроелементне живлення сприяли кращому синтезу білкових сполук. Олійність при цьому становила 20,3 %, що закономірно нижче через білково-олійний компроміс у насінні сої.

Дефектність насіння була найнижчою на варіантах 5–6, що підтверджує підвищення фізіологічної активності насіння та кращий розвиток рослин у період наливання.

Вміст смітної домішки у всіх варіантах істотно не відрізнявся, оскільки залежав від технологічних умов збирання та первинного очищення, а не від системи удобрення. Натомість олійна домішка формувалася переважно за рахунок недозрілих (зелених), морщених та битих насінин і істотно зменшувалась із підвищенням рівня мінерального живлення, особливо за застосування бору, магнію та комплексних мікроелементів.

Система удобрення істотно вплинула на біохімічні показники якості зерна сої. Зростання вмісту білка супроводжувалося закономірним зниженням олійності, що повністю відповідає фізіологічній природі культури. Найвищий вміст білка сформувався на варіантах з підвищеною дозою NPK у поєднанні з бором, магнієм та комплексними мікроелементами. Одночасно такі варіанти забезпечили мінімальні показники дефектності насіння, що свідчить про сприятливий вплив оптимального живлення на формування зерна в умовах 2025 року.

РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ СОЇ ЗА РІЗНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ

5.1. Аналіз економічної ефективності

Економічна оцінка впливу різних систем удобрення сої в умовах ТОВ «Берестівець» показала суттєві відмінності у рівні їх окупності та рентабельності (табл. 10).

Таблиця 10

Економічна ефективність вирощування сої залежно від системи удобрення

Варіант	Урожайність, т/га	Ціна реалізації, грн/т	Вартість валової продукції, грн/га	Виробничі витрати, грн/га	Прибуток, грн/га	Рентабельність, %
Контроль (без добрив)	1,25	18 900	23 625	26 578	–2 953	–11,1
$N_{30}P_{30}K_{30}$	1,62	18 900	30 618	30 778	–160	–0,5
$N_{30}P_{30}K_{30}$ + B	1,85	18 900	34 965	31 078	3 887	12,5
$N_{60}P_{60}K_{60}$	2,13	18 900	40 257	34 978	5 279	15,1
$N_{60}P_{60}K_{60}$ + B	2,30	18 900	43 470	35 278	8 192	23,2
$N_{60}P_{60}K_{60}$ + B + Mg + мультикомплекс	2,46	18 900	46 494	35 808	10 686	29,8

Встановлено, що вирощування культури без удобрення в умовах 2025 року є економічно неефективним, оскільки отримана врожайність не забезпечує покриття виробничих витрат. Зафіксовано від’ємний фінансовий результат (–11,1 %), що зумовлено високою собівартістю технологічних операцій на фоні низького рівня продуктивності.

Внесення мінімальної дози мінеральних добрив ($N_{30}P_{30}K_{30}$) дещо підвищило врожайність, проте не забезпечило позитивної економічної віддачі. Додавання бору до цієї системи дало суттєвий приріст урожайності, що забезпечило перший економічно виправданий результат серед досліджуваних варіантів (12,5 % рентабельності). Це підтверджує визначальну роль бору у формуванні генеративних органів та зниженні абортації бобів за умов повітряної та ґрунтової посухи.

Збільшення норми мінерального живлення до $N_{60}P_{60}K_{60}$ сприяло подальшому зростанню врожайності та прибутковості технології. У цьому варіанті рентабельність становила 15,1 %, що свідчить про високу ефективність оптимізації забезпеченості рослин макроелементами на чорноземах опідзолених. Більш суттєвий економічний ефект був отриманий при поєднанні повної норми NPK із бором (23,2 % рентабельності). Це обґрунтовується посиленням біологічних процесів у симбіотичній системі «рослина–ризобії», а також покращенням умов формування бобів і наливу насіння.

Найвищі показники економічної результативності відзначено у варіанті з повною нормою мінерального живлення та додатковим внесенням бору, магнію і комплексного мікродобрива. Чистий прибуток за такого варіанта становив 10,7 тис. грн/га, рівень рентабельності – 29,8 %. Це свідчить про доцільність застосування комплексної системи живлення в умовах нестабільного зволоження та підвищених температур, характерних для вегетаційного періоду 2025 року.

5.2. Аналіз енергетичної ефективності

Енергетична оцінка також показала суттєві переваги інтенсивних систем удобрення. Коефіцієнт енергетичної ефективності у контрольному варіанті становив 1,86, що відповідає низькому рівню окупності енергозатрат. За внесення $N_{30}P_{30}K_{30}$ + бор енергетична окупність зросла до 2,16, а максимального значення досягла у варіанті $N_{60}P_{60}K_{60}$ + B + Mg + мультикомплекс (2,26). Це підтверджує, що оптимізація системи живлення забезпечує не лише економічні переваги, а й підвищує ефективність використання енергії в агротехнології.

Примітки до таблиці (за ДСТУ):

енергетична цінність 1 кг насіння сої – 20,9 МДж/кг;

енерговитрати враховують паливо, механізовані операції, добрива, засоби захисту, сушіння, транспорт (сумарно в перерахунку на МДж).

Таблиця 11

Енергетична ефективність вирощування сої залежно від системи удобрення

Система удобрення	Урожайність, т/га	Енергетична цінність урожаю, МДж/га	Сумарні витрати енергії, МДж/га	Коефіцієнт енергетичної ефективності (Ке)
Контроль (без добрив)	1,25	26 125	14 020	1,86
$N_{30}P_{30}K_{30}$	1,62	33 858	17 600	1,92
$N_{30}P_{30}K_{30}$ + B	1,85	38 665	17 900	2,16
$N_{60}P_{60}K_{60}$	2,13	44 517	21 900	2,03
$N_{60}P_{60}K_{60}$ + B	2,30	48 195	22 200	2,17
$N_{60}P_{60}K_{60}$ + B + Mg + мульти-комплекс	2,46	51 414	22 700	2,26

Таким чином інтенсивні системи удобрення забезпечують значно вищі показники енергетичної окупності порівняно з контролем.

Застосування мікроелементів (бору, магнію) у поєднанні з повною нормою NPK дозволило сформувати найвищу сумарну енергію врожаю при помірному зростанні енерговитрат.

Отже, проведені дослідження засвідчили високу ефективність інтенсивних систем удобрення, зокрема тих, що поєднують макро- та мікроелементи. Найкращі результати отримано у варіанті з повною нормою мінерального живлення та комплексом мікродобрив, що дає змогу рекомендувати його для виробничого використання в умовах Уманського району та подібних ґрунтово-кліматичних зон.

РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ПРИ ВИКОНАННІ ПОЛЬОВИХ ДОСЛІДІВ

6.1. Охорона праці, виробнича санітарія та гігієна праці при проведенні польових робіт

Організація безпечних умов праці під час виконання польових робіт у межах проведення досліду відповідає вимогам Закону України «Про охорону праці», Кодексу законів про працю України, НПАОП 0.00-1.28-10, НПАОП 01.0-1.01-12 «Правила охорони праці в сільськогосподарському виробництві», ДСТУ 2293-99 «Охорона праці. Терміни та визначення», а також санітарним нормам і правилам МОЗ України. Згідно із зазначеними нормативами роботодавець зобов'язаний забезпечити безпечні умови праці, інструктування працівників та відповідний технічний стан машин, агрегатів і устаткування [52].

Усі роботи з основного та передпосівного обробітку ґрунту, сівби, внесення добрив, засобів захисту рослин, а також збирання врожаю виконуються механізованими агрегатами на базі тракторів John Deere та самохідних обприскувачів. Перед початком робіт проводиться первинний та повторний інструктаж із охорони праці, працівники ознайомлюються з потенційними небезпечними факторами та правилами поводження з технікою.

До керування сільськогосподарськими машинами допускаються особи віком від 18 років, які мають відповідну кваліфікацію, посвідчення тракториста-машиніста та пройшли медичний огляд. Машини повинні бути у справному технічному стані, мати захисні кожухи, огородження рухомих елементів і справні гальмівні системи. Перед виїздом у поле проводиться щоденний огляд техніки з внесенням записів у журнал технічного контролю.

При поводженні з мінеральними добривами працівники повинні використовувати засоби індивідуального захисту: спецодяг, гумові рукавиці, респіратори (РПГ-67 або аналогічні), захисні окуляри. Розсипані добрива негайно прибираються, не допускається їх потрапляння у водні джерела. Заборонено паління та приймання їжі у місцях зберігання добрив [52].

Обприскування посівів проводиться відповідно до вимог НПАОП та ДСП 8.8.1.2.001-98 «Правила застосування пестицидів», із дотриманням санітарно-захисних зон: до житлових будівель – не менше 300 м, до водойм – 500 м, до пасік – 2 км (за попередженням власників пасік).

При роботі з інсектицидами та гербіцидами забороняється перебування сторонніх осіб на полі. Працівники зобов'язані використовувати герметичні костюми, респіратори та гумові чоботи. Після виконання робіт необхідно прийняти душ, замінити робочий одяг та провести дегазацію інвентарю.

Під час виконання дослідів у період високих температур необхідно забезпечити умови для запобігання тепловим ударам: регламентовані перерви, забезпечення працівників питною водою, наявність аптечки, контроль тривалості перебування під прямим сонячним промінням.

Усі працівники мають бути ознайомлені з алгоритмом надання домедичної допомоги при ураженні хімікатами, тепловому ударі, травмах механізмами та інших надзвичайних ситуаціях.

Виробнича санітарія під час проведення польових робіт передбачає: дотримання вимог щодо зберігання хімічних препаратів у спеціально обладнаних складах, наявність санітарно-побутових приміщень, забезпечення працівників засобами індивідуального захисту, контроль за станом повітряного середовища та дотриманням режиму роботи.

Комплексні заходи з охорони праці значно знижують ризики виробничого травматизму та забезпечують безпечне виконання експериментальних робіт у польових умовах.

6.2. Екологічна безпека та вплив рекомендованої системи удобрення на довкілля і якість продукції

Впровадження оптимізованої системи удобрення сої, що включає повну норму $N_{60}P_{60}K_{60}$ та мікроелементи (бор, магній, мікродобрива), має подвійний вплив: екологічний та якісний. Оцінка здійснювалася згідно з Законом України

«Про охорону навколишнього природного середовища», Законом України «Про пестициди та агрохімікати» та ДСТУ ISO 14001 [53].

Застосування збалансованої системи живлення забезпечує:

1. зменшення втрат азоту за рахунок кращого його засвоєння рослинами; – зниження ризику нітратного забруднення ґрунтових вод;
2. стабілізацію вмісту органічної речовини ґрунту завдяки більшій біомасі рослин і післяжнивних решток;
3. збереження структури ґрунту завдяки меншим об’ємам повторних обробітків;
4. зменшення виносу елементів живлення за рахунок оптимального співвідношення NPK.

Внесення мікроелементів у хелатних формах характеризується низьким екотоксикологічним навантаженням, а застосовані дози нешкідливі для ґрунтової мікробіоти.

Оптимальне мінеральне живлення сприяє формуванню зерна з підвищеним умістом білка (до 39–40 %) і стабільною олійністю (21–22 %). Покращується виповненість насіння, зменшується частка зеленої, зморшкуватої та непродуктивної домішки. Це зумовлено:

- зниженням абортації бобів;
- підвищенням інтенсивності фотосинтезу;
- стабілізацією азотного живлення під час формування білків.

Система удобрення з повною нормою NPK у поєднанні з бором та магнієм забезпечила найнижчі показники олійної та смітної домішки, що відповідає вимогам ДСТУ 4964:2008 «Соя. Технічні умови».

Комплексна система удобрення, що була визначена як найбільш ефективна, характеризується найкращим коефіцієнтом енергетичної окупності (2,26), найменшим потенційним впливом на довкілля за рахунок збалансованості елементів живлення, відсутністю загрози накопичення токсичних елементів у ґрунті та покращенням агроекологічного стану земель.

ВИСНОВКИ

1. Погодні умови вегетаційного періоду 2025 року були стресовими, так як критичним був дефіцит вологи у червні (11,2 мм проти 81 мм) та недостатні опади в серпні, що обмежило реалізацію потенціалу сорту S007-Y4 за висотою та врожайністю.

2. Оптимізація мінерального живлення у варіанті з повним внесенням добрив $N_{60}P_{60}K_{60}$ + B + Mg + мультикомплекс підвищувала висоту рослин до 72 см, яка на 12 см була більша за контрольний варіант без внесення добрив, а також краще посилювала ростові процеси та сприяла підвищенню стійкості до посухи.

3. Застосування добрив суттєво покращило елементи структури врожаю та підвищило продуктивність сої. Кількість бобів на рослині зросла з 16 шт. на контролі до 22 шт. у варіанті з максимальним удобренням ($N_{60}P_{60}K_{60}$ + B + Mg + комплекс). Маса 1000 насінин під впливом повного мінерального живлення та мікроелементів збільшилася зі 118 г до 128 г. Встановлено позитивний вплив бору на зменшення абортації зав'язі та підвищення озерненості бобів (до 2,2 шт.).

4. Найвищу врожайність сої сорту S007-Y4 отримано за комплексної системи удобрення у варіанті Фон + $N_{60}P_{60}K_{60}$ + B + Mg + мультикомплекс, яка склала 2,46 т/га, що перевищувало контрольний варіант (1,25 т/га) на 1,21 т/га або на 97,1 %. Варіант із внесенням лише $N_{60}P_{60}K_{60}$ забезпечив урожайність 2,13 т/га (приріст 0,88 т/га), а додавання бору до цієї норми підвищило врожай до 2,30 т/га. Усі отримані прирости є істотними ($НІР_{0,5}$ = 0,13 т/га).

5. Поліпшення умов живлення сприяло зростанню вмісту сирого протеїну в насінні з 38,5 % на контролі до 40,3 % у варіанті з максимальною дозою добрив та мікроелементами. При цьому спостерігалося закономірне незначне зниження олійності з 21,4 % до 20,3 %. Комплексне підживлення також дозволило знизити частку дефектного (зеленого та морщеного) насіння, покращивши товарні кондиції врожаю.

6. Вирощування сої без добрив в умовах 2025 року виявилося збитковим, так якрівень рентабельності склав 11,1 %. Найвищу економічну ефективність

забезпечив варіант $N_{60}P_{60}K_{60}$ + B + Mg + мультикомплекс, де умовно чистий прибуток склав 10 686 грн/га, а рівень рентабельності досяг 29,8 %. Внесення бору на фоні $N_{60}P_{60}K_{60}$ підвищило рентабельність з 15,1 % до 23,2 %, що підтверджує високу окупність мікродобрив.

7. Інтенсифікація системи удобрення сприяла зростанню коефіцієнта енергетичної ефективності (Ке). Якщо на контролі він становив 1,86, то за внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$ + B + Mg + мультикомплекс цей показник зріс до 2,26, що свідчить про раціональне використання енергетичних ресурсів на формування одиниці продукції навіть за зростання виробничих витрат.

Таким чином господарствам Правобережного Лісостепу України (зони нестійкого зволоження) для отримання стабільної врожайності сої на рівні 2,4–2,5 т/га з рентабельністю 29,8 % на чорноземах опідзолених рекомендується застосовувати ґрунтове внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$ у поєднанні з обов'язковим комплексним позакореневим підживленням у фазу 3-х трійчастих листків баковою сумішшю (Бор, MgSO4, мікроелементи). Одночасно критично важливим для збереження врожаю є моніторинг та своєчасний інсектицидний захист посівів від люцернової совки у фази бутонізації та формування бобів.

_____ _____

(дата) підпис

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кириченко В. В., Рябуха С. С., Кобизєва Л. Н., Посилаєва О. О., Чернишенко П. В. Соя (Glycine max (L.) Merr.) : монографія. Харків : Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН, 2016. 400 с.

2. Мізерник Д. В. Сучасний стан та перспективи вирощування сої в світі і Україні. Передгірне та гірське землеробство і тваринництво. Вип. 76 (1). 2024. с 36–47. URL: https://phzt-journal.isgkr.com.ua/76-1/4.pdf (дата звернення 10.11.2025).

3. Новохацький М., Степченко С. Продуктивність сої в умовах зміни клімату за різних систем основного обробітку ґрунту в Лісостепу України. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. 2025. Т. 1, № 36(50). С. 133–144. URL: https://www.ndipvt.com.ua/Zbyrnyk/Edition36_50/St36_50_11.pdf (дата звернення: 10.11.2025).

4. Ткаченко Ю. А., Позднєв А. В. Живлення сої та вплив стресових чинників на врожайність. Агроном. 2021. URL: https://www.agronom.com.ua/zhyvlennya-soyi-ta-vplyv-stresovyh-chynnykiv-na-vrozhajnist/ (Дата звернення: 10.11.2025).

5. Яровий Я. О. Продуктивність сої залежно від удобрення та інокуляції. Збірник Уманського НУС. 2024. Вип. 105. С. 268–278.

6. Байда М. П. Ефективність фотосинтезу сої залежно від впливу елементів технології вирощування. Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. 2021. № 29. С.129–138.

7. Ратошнюк В. І. , Савчук О. І. , Ратошнюк В. В. Особливості формування продуктивності сої на дерновопідзолистому ґрунті в лізиметричних дослідженнях. Вісник аграрної науки. № 7. 2023. С. 5–13. URL: https://agrovisnyk.com/pdf/ua_2023_07_01.pdf (дата звернення: 10.11.2025).

8. Бричко А.М., Зубенок А.В. Економічна ефективність застосування добрив під сою. Збірник праць Мукачівського державного університету. Серія

Економіка і суспільство. 2018. С. 302–308. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2018-18-42.

9. Лихочвор В. В., Щербачук В. М., Панасюк Р. М., Панасюк О. В. Вплив удобрення на формування фотосинтетичної та зернової продуктивності сої в умовах Західного Лісостепу. Передгірне та гірське землеробство і тваринництво. 2016. Вип. 60. С. 88–96. URL: https://phzt-journal.isgkr.com.ua/wp-content/uploads/zbirnik/60ua/15.pdf (дата звернення: 10.11.2025).

10. Бараболя О. В., Найдіон М. Ю., Кононенко С. М., Коровніченко С. Г. Вплив мінерального живлення на продуктивність сої. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2020. № 4. С. 35–44. DOI: doi. org/10.31210/visnyk2020.04.04.

11. Бахмат О. М. Моделювання адаптивної технології вирощування сої : монографія. Кам'янець-Подільський : Видавець Зволейко Д. Г., 2012. 435 с.

12. Особливості вирощування сої в сучасних кліматичних реаліях / Федорук І. В. та ін. Збірник тез III Міжнар. наук.-практ. конф. «Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти». Київ, 2020. С. 83–86.

13. Чинчик О. С. Фотосинтетична діяльність та врожайність сортів сої залежно від удобрення. Збірник наукових праць УНУ. № 90. 2017. С. 246–255.

14. Бикін А. В., Генгало Н. О. Ефективність застосування добрив і гумату калію за вирощування сої на чорноземі типовому малогумусному. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2011. Вип. 162. Ч. 2. С. 137–144.

15. Бойко В. П. Ефективність доз і співвідношень мінеральних добрив у польовій сівозміні на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу України: автореф. дис. … канд. с.-г. наук: 06.01.04. Харків, 2020. 22 с.

16. Булигін С. Ю., Величко В. А., Демиденко О. В. Агрогенез чорнозему. Київ : Аграрна наука, 2016. 356 с.

17. Василенко М., Душко П. Поживний режим сірого лісового ґрунту за різних систем удобрення сої. Вісник аграрної науки. 2019. № 97 (4). С. 11–15.

18. Волкогон В. В. Мікробіологічна трансформація сполук азоту в ґрунтах агроценозів: Монографія. К. ; Ніжин: ПП Лисенко М. М., Аграрна наука, 2017. 192 с.

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

20. 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.

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

22. Симбіотична азотфіксація та врожай / Г. М. Господаренко та ін. Умань : Видавець «Сочінський М. М.», 2017. 324 с.

23. Симбіотична продуктивність сої залежно від рівня удобрення в Правобережному Лісостепу / Г. М. Заболотний та ін. Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства НААН». 2015. Вип. 4. С. 66–71.

24. Душко П. М., Шумигай І. В. Вплив систем удобрення на продуктивність рослин сої (glycine max l). Агроекологічний журнал. 2023. № 4. С. 175–180. URL: http://journalagroeco.org.ua/article/view/293796/290884 (дата звернення: 10.11.2025).

25. Мащенко Ю. В., Соколовська І. М., Ткач А. Ф. Продуктивність сої залежно від її частки в сівозміні та системи удобрення в умовах Північного Степу. Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка. № 38. 2023. С. 26-32.

26. Господаренко Г. М., Мартинюк А. Т., Бойко В. П. Продуктивність польової сівозміни у разі калійдефіцитної системи удобрення. Вісник Полтавської ДАА. 2021. № 1. С. 28–37.

27. Козирський Д. В., Сидорак І. Я., Григор'єв В. М., Коруняк О. П. Формування продуктивності сої залежно від мікродобрив та фунгіцидного захисту. Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка. Вип. 1. №46. 2025. С. 53–59.

28. Господаренко Г. М., Черно О. Д., Кравець І. С. Азотний статус ґрунту за тривалого застосування добрив у польовій сівозміні. Зб. наук. пр. Уманського НУС. 2024. Вип. 104. Ч. 1. С. 149–160. DOI: 10.32782/2415- 8240-2024-104-1-149-160.

29. Господаренко Г. М., Яровий Я. С. Урожайність сої за різного удобрення на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу. Наукові засади підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва: матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції (Харків, 25–26 листопада 2021 р.). Харків: ДБТУ, 2021. С. 62–63.

30. Господаренко Г. Удобрення сої. Пропозиція. 2019. № 12. С. 68–71.

31. Шувар А. М., Сеник І. І., Сидорук Г. П., Чубарик М. В. Вплив удобрення на насіннєву продуктивність сої в умовах Лісостепу Західного. Аграрні інновації. № 31. 2025. С. 158–162. DOI: https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2025.31.24

32. Лихочвор В. В., Панасюк Р. М., Панасюк О. В. Вплив систем удобрення на формування врожайності зерна сої. Агроном. 2021. URL: https://www.agronom.com.ua/vplyv-system-udobrennya-na-formuvannya-vrozhajnosti-ta-yakosti-zerna-soyi/ (дата звернення: 10.11.2025).

33. Циганська О. 1. Вплив системи удобрення на проходження фаз росту і розвитку сортів сої та на коефіцієнт збереження рослин. Сільське господарство та лісівництво. 2019. Вип. 13. С. 119–133.

34. Циганська О. І. Вплив фону мінерального живлення та способів обробки мікродобривам на формування плодоелементів сортів сої в умовах Лісостепу правобережного. Корми і кормовиробництво. 2015. Вип. 81. С. 82–88.

35. Гавій В .М., Козючко-Головач А.Г. Формування площі листкової поверхні сої залежно від передпосівної обробки насіння метаболічно активними речовинами. Аграрні інновації. № 31. 2025. С. 24–28.

36. Вожегова Р. А., Малярчук М. П., Котельников Д. І., Грибинюк К. С. Врожайність сої за різних систем основного обробітку ґрунту та удобрення в умовах зрошення. Аграрні інновації. № 7. 2021. С. 10–15. URL: http://agrarian-

innovations.izpr.ks.ua/index.php/agrarian/article/view/138/114 (дата звернення: 10.11.2025).

37. Вплив елементів технології вирощування на продуктивність сої / Ткаченко Л. Ю., Рудавська Н. М., Тимчишин О. Ф. та ін. Передгірне та гірське землеробство і тваринництво. 2024. Вип. 75 (2). С. 138–146.

38. Харченко О. В., Петренко Ю. М. Ресурсні рівні врожайності сільськогосподарських культур та їх екологічне оцінювання; за ред. О. В. Харченка. Суми : ВВП «Мрія», 2017. 56 с.

39. Вишнівський П. С., Фурман О. В. Продуктивність сої залежно від елементів технології вирощування в умовах правобережного Лісостепу України. Plant and soil science. Київ, 2020. Vol. 11. № 1. С. 13–22.

40. Соя : монографія / В. Ф. Петриченко та ін. Вінниця : Діло, 2016. 392 с.

41. Соя – стратегічна культура світового землеробства : бібліогр. покажч. / Полтав. держ. аграр. акад., б-ка ; уклад. І. І. Фіненко ; наук. ред. Л. Г. Білявська. Полтава : ПДАА, 2017. 100 с.

42. Адамець Ф. Ф. Агробіологічні особливості вирощування сої в Україні. Київ: Аграрна наука, 2006. 456 с.

43. Рослинництво : підручник / Базалій В.В. Зінченко О.І. Лавриненко Ю.О., та ін. Одеса : Олді+. 2025. 520 с.

44. Соя S007-Y4 | Високоврожайна соя2”. PROSEED. URL: https://proseed.com.ua/s007.html (Дата звернення: 10.11.2025).

45. Соя S007-Y4 – Насіння сої S007-Y4”. Growex Market. URL: https://growex.market/product/soya-s007-y4-persha-reprodukciya (Дата звернення: 10.11.2025).

46. Ґрунти України: властивості, генезис, менеджмент родючості : навч. посіб. / В. І. Купчик, та ін. ; за ред. В. І. Купчика. Київ : Кондор, 2010. 414 с.

47. Ґрунтознавство : підручник / Д. Г. Тихоненко, М. О. Горін, М. І. Лактіонов та ін. ; за ред. Д. Г. Тихоненка. Київ : Вища освіта, 2005. 703 с.

48. Панас Р. М. Ґрунтознавство : навч. посіб. 2-ге вид., стер. Львів : Новий Світ-2000, 2025. 372 с.

49. 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 «Едельвейс і К». 2014. 332 с.

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

51. ДСТУ 4964:2008 Соя. Технічні умови [Чинний від 2010-07-01]. Вид. офіц. Київ, 2010. 8 с. URL: https://elevator.com.ua/sites/default/files/docs/dstu4964-2008.pdf (Дата звернення: 10.09.2025).

52. Охорона праці в агропромисловому комплексі : підручник / А. С. Бєліков, К. М. Сухий, А. С. Кобець та ін. ; за ред. А. С. Бєлікова. Дніпро : Журфонд, 2025. 644 с.

53. Сільськогосподарська екологія : навч. посіб. / О. П. Ткачук, Ю. М. Шкатула, О. М. Тітаренко. Вінниця : ВНАУ, 2020. 542 с. URL: https://repository.vsau.org/getfile.php/24545.pdf

ДОДАТКИ

Додаток А

Однофакторний дисперсійний аналіз (ANOVA)

1. Вихідні дані та середні значення врожайності сої, т/га

Варіант	Повт. 1	Повт. 2	Повт. 3	Повт. 4	Σ	x̄, т/га	S² (дисперсія)
1. Контроль (без добрив)	1,29	1,27	1,31	1,14	5,01	**1,25**	0,0059
2. $N_{30}P_{30}K_{30}$	1,69	1,61	1,68	1,51	6,49	**1,62**	0,0069
3. $N_{30}P_{30}K_{30}$ + B	1,78	1,76	1,77	2,08	7,39	**1,85**	0,0241
4. $N_{60}P_{60}K_{60}$	2,16	2,17	2,07	2,12	8,52	**2,13**	0,0021
5. $N_{60}P_{60}K_{60}$ + B	2,20	2,31	2,32	2,38	9,21	**2,30**	0,0056
6. $N_{60}P_{60}K_{60}$ + B + Mg + мультикомплекс	2,46	2,46	2,54	2,39	9,85	**2,46**	0,0038

Середня врожайність по досліду ($\bar{x}$ загальна) = 1,94 т/га

2. Результати однофакторного дисперсійного аналізу (фактор – система удобрення)

Джерело варіації	SS (сума квадратів)	df	MS (середній квадрат)	Fфакт
Фактор – удобрення	4,0898	5	0,8180	**101,56**
Похибка	0,1450	18	0,00805	
Разом	4,2348	23		

$F_{факт}$ =101,56

$F_{теор\ 0,05}$ (5; 18) ≈ 2,77

Оскільки 101,56 > 2,77, вплив систем удобрення на врожайність сої статистично достовірний на рівні значущості 0,05.

3. $НІР_{0,5}$ (LSD) і точність досліду

Розрахунок вівся за формулою:

$$НІР_{0,05} = t_{0,05} \times \sqrt{\frac{2 \times MS_{пох}}{r}}$$

Де

$t_{0,05}(df=18) \approx 2,10$; $MS_{пох}=0,00805$; $r=4$.

Отримано: $НІР_{0,5}$ = 0,13 т/га

Коефіцієнт варіації досліду:

$$V = \frac{\sqrt{MS_{пох}}}{\bar{x}} \times 100 \approx 4,6$$

Додаток В

Середні врожаї (з округленням до 0,01 т/га) та групи значущості:

Варіант	Урожайність, т/га	Приріст до контролю, т/га	Приріст, % до контролю	Група*
1. Контроль (без добрив)	1,25	–	–	a
2. $N_{30}P_{30}K_{30}$	1,62	+0,37	+29,5 %	b
3. $N_{30}P_{30}K_{30}$ + B	1,85	+0,60	+47,5 %	c
4. $N_{60}P_{60}K_{60}$	2,13	+0,88	+70,1 %	d
5. $N_{60}P_{60}K_{60}$ + B	2,30	+1,05	+83,8 %	e
6. $N_{60}P_{60}K_{60}$ + B + Mg + мультикомплекс	2,46	+1,21	+96,6 %	f

*Групи a–f: усі варіанти достовірно відрізняються між собою, тому кожен має свою літеру (різниця між будь-якими двома середніми > $НІР_{0,5}$ = 0,13 т/га).

Дисперсійним аналізом встановлено, що система удобрення істотно впливала на формування врожайності сої (Fфакт = 101,56 > Fтеор0,05 (5;18) = 2,77). Середня врожайність по досліду становила 1,94 т/га за коефіцієнта варіації 4,6 %, що свідчить про високу точність досліду. На контролі без добрив урожайність становила 1,25 т/га. Застосування $N_{30}P_{30}K_{30}$ забезпечило приріст 0,37 т/га (29,5 %), а поєднання $N_{30}P_{30}K_{30}$ з бором – 0,60 т/га (47,5 %) порівняно з контролем, що перевищує $НІР_{0,5}$ = 0,13 т/га. Подальше підвищення дози добрив до $N_{60}P_{60}K_{60}$ та доповнення їх бором, магнієм і комплексом мікроелементів сприяло формуванню максимальної врожайності 2,46 т/га, що на 1,21 т/га (96,6 %) більше контролю. Усі варіанти удобрення достовірно перевищували контроль, причому кожне наступне ускладнення системи живлення забезпечувало істотне збільшення врожайності.

Додаток С

Технологічна карта вирощування сої

За даними ТОВ «Берестівець» та фактичними технологічними операціями 2025 р.

№	Операція	Агрегат / матеріали	Норма	Паливо, л	Ціна, грн	Вартість операції, грн	Матеріали, грн	Разом, грн
1	Оранка (осіння)	John Deere + плуг	20 см	20 л	58 грн/л	1 600	1 160	**2 760**
2	Зубова борона / закриття вологи	JD + борона	1 прохід	5 л	58	400	290	**690**
3	Передпосівна культивація (компактор Lemken)	Компактор Lemken	1 прохід	7 л	58	800	406	**1 206**
4	Сівба	Сівалка JD	1 прохід	5 л	58	700	290	**990**
5	Насіння сої	Сорт S007-Y4	120 кг	–	–	–	**1 920**	**1 920**
6	Протруювання насіння	Фунгіцид + інсектицид	120 кг	–	–	–	**1 800**	**1 800**
7	Внесення NPK	Нітроамофоска 16:16:16	120 кг	–	–	–	**4 200**	**4 200**
8	Гербіцидний обробіток	Раундап / Геліос Екстра	1 обробка	3 л	58	600	**800**	**1 400**
9	Підживлення (бор+Mg+мульти-комплекс)	Обприскувач JD	1 обробка	3 л	58	600	**830**	**1 430**
10	Інсектицидний обробіток	Фосорган Дуо, Кораген+Нурел-Д	1 обробка	3 л	58	600	**250**	**850**
11	3-кратне обприскування (робота + паливо)	Обприскувач JD	9 л	58	1 800 (робота)	522 (паливо)	–	**2 322**
12	Збирання врожаю	Комбайн JD	1 прохід	16 л	58	1 900	928	**2 828**
13	Оренда землі та податки	–	–	–	–	–	**9 192**	**9 192**

Підсумок технологічної карти

Стаття	Сума, грн/га
Вартість механізованих робіт та палива	12 056
Матеріали (насіння, добрива, ЗЗР)	17 737
Оренда та податки	9 192
Загальні виробничі витрати (без урахування варіантів мінерального живлення)	26 578 грн/га
+ добрива за варіантами досліду	додаються згідно розділу 5

Вартість систем удобрення (для використання в карті)

Варіант	Система удобрення	Додаткові витрати на добрива, грн
1	Контроль	0
2	N30P30K30	4 200
3	N30P30K30 + B	4 500
4	N60P60K60	8 400
5	N60P60K60 + B	8 700
6	N60P60K60 + B + Mg + мультикомплекс	9 230