

МОН УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
(УНУ)

Факультет агрономії

Кафедра агрохімії і ґрунтознавства

Допущено до захисту
«_____» _____ 2025 р.
Зав. кафедри, к. с.-г. н., доцент
_____ Олена ЧЕРНО

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ступеня вищої освіти магістр

ВПЛИВ УМОВ ЖИВЛЕННЯ НА РІСТ І ПРОДУКТИВНІСТЬ СОЇ У
ФГ «ЩЕДРА ЗЕМЛЯ ЧЕРКАЩИНИ» ЧЕРКАСЬКОГО РАЙОНУ
ЧЕРКАСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Виконав: студент II курсу, групи 21 м-з-а
спеціальності 201 Агрономія
ПІСКУН Микола Іванович

Керівник: Ліна МУСІЄНКО,
доктор філософії, старший викладач

Умань – 2025

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. ОСОБЛИВОСТІ ПОТРЕБИ МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ (огляд літератури)	5
1.1. Біологічні особливості сої.....	5
1.2. Особливості живлення сої основними елементами (N, P, K).....	6
1.3. Роль інокуляції та азотфіксації в живленні сої.....	10
РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ (особливості сорту Покахонтас)	14
РОЗДІЛ 3. УМОВИ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	16
3.1. Агрохімічна характеристика ґрунту під дослідом	16
3.2. Кліматичні умови року проведення дослідження.....	17
3.3. Схема досліду	18
3.4. Технологія вирощування сої	19
3.5. Програма досліджень та методики їх проведення	19
РОЗДІЛ 4. ВПЛИВ УМОВ ЖИВЛЕННЯ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ СОЇ В УМОВАХ ФГ «ЩЕДРА ЗЕМЛЯ ЧЕРКАЩИНИ».....	21
4.1. Вплив варіантів удобрення на формування сухої речовини.....	21
4.2. Формування азотфіксувального апарату посівів сої.....	23
4.3. Вплив удобрення на формування листкового апарату посівів сої.....	24
4.4. Забезпеченість рослин сої азотом	26
4.5. Урожайність і якість сої залежно від умов вирощування.....	28
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ СОЇ СОРТУ ПОКАХОНТАС ЗА РІЗНИХ НОРМ УДОБРЕННЯ.....	32
РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	34
6.1. Основні принципи охорони праці при виконанні технологічних операцій з вирощування сої.....	34
6.2. Вимоги щодо охорони навколишнього середовища під час вирощування сої.....	35
ВИСНОВКИ	37
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	39
ДОДАТКИ	43

ВСТУП

Соя (*Glycine max* (L.) Merr.) є однією з найважливіших білково-олійних культур світового землеробства, що має ключове значення у вирішенні продовольчих, кормових та технічних завдань. Її цінність визначається високим вмістом протеїну (38–42 %), олії (18–22 %), незамінних амінокислот, лецитину та вітамінів. Зростання попиту на соєву сировину в Україні та світі зумовлює необхідність упровадження ефективних та науково обґрунтованих технологій вирощування цієї культури.

Одним із перспективних напрямів підвищення продуктивності сої є оптимізація мінерального живлення. Для формування високих врожаїв рослинам необхідне збалансоване забезпечення основними елементами – азотом, фосфором і калієм. Дози та співвідношення NPK істотно впливають на інтенсивність ростових процесів, розвиток листового апарату, активність симбіотичної азотфіксації та формування якісних показників урожаю.

Особливо актуальним є вивчення живлення конкретних сортів, оскільки різні генотипи сої по-різному реагують на рівень удобрення. Сорт Покахонтас належить до сучасних високопродуктивних сортів, які характеризуються високою адаптивністю, доброю реакцією на удобрення та стабільною врожайністю в умовах Лісостепу України. Проте питання оптимізації мінерального живлення цього сорту в умовах Черкаської області потребує додаткових досліджень, оскільки природно-кліматичні умови регіону та агрофон ґрунтів мають суттєвий вплив на ефективність добрив.

Особливу увагу в сучасних технологіях приділяють також поєднанню мінерального живлення та інокуляції насіння. Формування активного азотфіксувального апарату є ключовим фактором, що знижує потребу рослин в азотних добривах, підвищує стійкість культури та формує економічно вигідне виробництво.

Актуальність теми полягає в необхідності визначення оптимальних умов живлення сої сорту Покахонтас та встановлення ефективних норм внесення мінеральних добрив у конкретних ґрунтово-кліматичних умовах Черкаської області. Це дасть змогу підвищити урожайність культури, покращити її якість та забезпечити економічну ефективність виробництва.

Мета дослідження – встановити вплив різних доз мінеральних добрив на ріст, розвиток і продуктивність сої сорту Покахонтас в умовах ФГ «Щедра земля Черкащини» у 2025 році.

Для досягнення поставленої мети були визначені відповідні завдання, які включали:

- аналіз літературних джерел щодо біологічних особливостей сої та її потреби у мінеральному живленні;
- характеристики і обґрунтування вибору дослідного об'єкта;
- проведення польового дослід з використанням різних доз мінеральних добрив
- оцінку агрохімічних характеристик ґрунту та погодних умов;
- вивчення динаміки росту рослин, формування листкової поверхні та азотфіксувального апарату;
- визначення структури врожаю, урожайності та якості насіння;
- установлення економічної ефективності застосування мінеральних добрив під сою.

Практичне значення роботи полягає у формуванні рекомендацій щодо оптимізації норм NPK для підвищення продуктивності сої сорту Покахонтас у виробничих умовах господарств Черкаської області.

РОЗДІЛ 1

ОСОБЛИВОСТІ ПОТРЕБИ МІНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕННЯ СОЇ СОРТУ (огляд літератури)

1.1. Біологічні особливості сої

Соя (*Glycine max* (L.) Merr.) – одна з найважливіших зернобобових культур світового землеробства, яка поєднує високу продуктивність, універсальність використання та унікальні біологічні властивості. Її значення зумовлене високим вмістом білка (35–42%) та олії (18–22%), що робить культуру незамінною у харчовій, кормовій та олійній промисловості [36].

Соя належить до теплолюбних культур короткого дня. Для нормального росту та розвитку вона потребує суму активних температур 2500–3000°C, достатню забезпеченість світлом і середню вологість повітря [25]. На початкових етапах розвитку (сім'ядолі – 3-й листок) рослини особливо чутливі до температури ґрунту. Оптимальною для проростання насіння є температура 12–14°C, тоді як при 8–10°C процеси розвитку істотно сповільнюються [18].

Важливою біологічною особливістю сої є її здатність до симбіотичної азотфіксації. Після обробки кореневої системи бульбочковими бактеріями (*Bradyrhizobium japonicum*) у рослин формується потужний азотфіксувальний апарат, здатний забезпечити 50–70% потреби рослини в азоті [34]. За оптимальних умов симбіоз може фіксувати 80–120 кг/га біологічного азоту, що знижує необхідність внесення мінеральних добрив та підвищує екологічну ефективність виробництва [49].

Коренева система сої стрижнева, добре розвинута, з великою кількістю бічних корінців, що забезпечує рослину вологою та мінеральним живленням навіть у глибших шарах ґрунту. Глибина проникнення головного кореня може досягати 1,5–1,8 м, проте 70–80% кореневої маси розташовані у верхньому 0–30 см шарі, що робить культуру дуже залежною від структури та родючості ґрунту [47].

Надземна частина рослини також має низку характерних рис. Залежно від сорту, висота рослин становить 60–120 см. Листковий апарат формується інтенсивно протягом вегетації, а площа листкової поверхні може досягати 35–45 тис. м²/га, що забезпечує високу фотосинтетичну продуктивність [50].

Цвітіння сої починається через 35–45 днів після сходів і продовжується 20–30 діб. Рослини утворюють багатоквіткові суцвіття, у яких лише частина зав'язей переходить у боби. Оптимальні умови для цього періоду – температура 22–28°C та помірна вологість ґрунту [43]. Підвищені температури понад 35°C можуть спричиняти опадання квіток і значне зниження майбутньої врожайності.

Важливим фактором продуктивності є умови формування бобів і наливу насіння. Саме у цей період рослини найбільше потребують води: критична потреба становить 60–70% НВ у шарі 0–50 см. Дефіцит вологи призводить до зменшення маси 1000 насінин і зниження вмісту білка [26].

Таким чином, біологічні особливості сої визначають її високу чутливість до умов мінерального живлення, вологості та температури. Реалізація потенціалу продуктивності можлива лише за оптимального поєднання ґрунтових, кліматичних і технологічних чинників, а також за умови ефективної роботи симбіотичної азотфіксації.

1.2. Особливості живлення сої основними елементами (N, P, K)

Живлення сої мінеральними елементами є одним із ключових факторів формування врожайності, оскільки культура відзначається високою потребою у збалансованому надходженні азоту, фосфору та калію. За даними численних досліджень, забезпечення рослин оптимальним співвідношенням NPK визначає інтенсивність ростових процесів, рівень фотосинтетичної активності, роботу симбіотичної системи та формування генеративних органів [41].

Питання доцільності та ефективності мінерального удобрення сої, особливо азотом, упродовж десятиліть є предметом активних наукових дискусій. З одного боку, соя здатна забезпечувати себе азотом через симбіоз, з іншого – у багатьох

країнах світу продовжують досліджувати обґрунтованість використання різних доз NPK, зважаючи на умови ґрунту, клімату, рівень інокуляції та потенціал сорту [15].

Азот – основний елемент, що визначає ріст і продуктивність сої. Він входить до складу білків, ферментів, хлорофілу та нуклеїнових кислот. У більшості випадків соя отримує 50–70% азоту через симбіоз, проте для початку формування кореневої системи культура потребує невеликої стартової дози N [3].

Численні дослідження у США, Бразилії та Європі показали, що реакція сої на внесення мінерального азоту є надзвичайно варіативною.

Аналіз багаторічних дослідів, продемонстрував, що в більшості випадків внесення азоту не забезпечує істотного підвищення врожайності, якщо симбіоз з бульбочковими бактеріями працює повноцінно. Зокрема, аналіз сотень дослідів у різних штатах США показав, що середня прибавка врожаю від азоту була або незначною, або економічно не вигідною через високу вартість добрив і відсутність стабільного ефекту [41, 52].

Разом з тим новіші польові експерименти у Північній Америці та Європі свідчать, що локальна позитивна реакція на азот можлива в умовах:

- низької забезпеченості ґрунту мінеральним N;
- пошкодження або слабкої активності бульбочок;
- дуже високого потенціалу врожайності (7–8 т/га) [31, 51].

Так, встановлено, що у 9 дослідях на різних типах ґрунтів додаткове внесення азоту в репродуктивні фази (R3–R5) іноді збільшувало урожай на 0,2–0,4 т/га, але цей ефект був нестабільним і сильно залежав від погодних умов та початкової забезпеченості азотом [51].

Сучасні огляди підкреслюють, що висока доза N (понад 60–80 кг/га д.р.) часто знижує ефективність симбіозу – зменшується кількість бульбочок, рослини «перескакують» на мінеральний азот, собівартість зростає, а екологічна стійкість системи погіршується [7, 44].

За даними [34], стартове внесення азоту в нормі 20–30 кг/га сприяє:

- формуванню сильних проростків;
- активнішому розвитку кореня;
- швидшому утворенню бульбочок;
- підвищенню ефективності інокуляції.

Однак надлишок мінерального азоту (більше 40–50 кг/га) пригнічує утворення бульбочок, оскільки рослина переходить на засвоєння доступного нітратного азоту й зменшує їх взаємодію [22, 35]. Тому рекомендації українських та європейських агрономів зводяться до того, що стартова доза не повинна перевищувати 20–30 кг/га д.р. [18, 45].

У період активного росту азот потрібний для:

- формування листкового апарату;
- інтенсивного фотосинтезу;
- наростання сухої речовини;
- синтезу білка у насінні.

Критичним періодом споживання азоту є цвітіння – налив бобів. За дефіциту N зменшується кількість бобів, погіршується якість насіння, особливо вміст білка [43].

Фосфор є ключовим елементом у формуванні кореневої системи та розвитку бульбочок. Він бере участь у процесах енергетичного обміну (АТФ), фотосинтезі, транспорті вуглеводів, синтезі білків і регулює поділ клітин [46].

За даними [50], оптимальна забезпеченість фосфором підвищує:

- кількість і масу бульбочок;
- інтенсивність азотфіксації;
- кількість генеративних органів;
- масу 1000 насінин;
- посухостійкість рослин.

У ґрунтах України нерідко спостерігається нестача фосфору в легкодоступній формі, тому внесення P_{30-60} кг/га є технологічно виправданим. За

результатами, застосування P_{30} збільшує врожайність сої на 0,25–0,45 т/га залежно від року та сорту [26].

Фосфор критично важливий у фазах:

- 3–5 листків, коли формуються кореневі відгалуження;
- бутонізації, коли закладається максимальна кількість бобів;
- наливу насіння, коли відбувається транспорт продуктів фотосинтезу [42].

Недостатнє фосфорне живлення зменшує активність бульбочок на 30–40% [34].

Калій бере участь у регуляції водного режиму, відкритті й закритті продохів, транспорті асимілянтів та синтезі білків. Він також потрібний для роботи ферментів нітрогенази, які беруть участь у фіксації атмосферного азоту [23, 28, 47].

Відомо, що калій:

- підвищує посухостійкість сої;
- покращує фотосинтетичну продуктивність;
- збільшує масу 1000 насінин;
- покращує якість білка та олії в насінні [36, 53].

Дефіцит калію викликає:

- слабкий ріст бобів;
- зморшкуватість насіння;
- зниження вмісту олії;
- зменшення розміру бульбочок.

За дослідженнями Саблука П. Т., внесення K_{30} збільшувало врожайність сої на 0,20–0,35 т/га, а у поєднанні з фосфором – до 0,5 т/га [25].

Соя особливо чутлива не просто до наявності окремих елементів, а до збалансованого живлення.

За даними досліджень встановлено, що найбільш ефективним є співвідношення $N_{30}P_{30}K_{30}$ або $N_{60}P_{30}K_{30}$, що забезпечує:

- максимальний розвиток кореневої системи;
- потужний листковий апарат;
- високу інтенсивність фотосинтезу;
- збільшення біомаси на 15–25%;
- максимальне закладання генеративних органів [29, 41].

Поєднання фосфору й калію також стримує негативний ефект надлишкового азоту саме тому навіть у варіантах з N₆₀ симбіоз не руйнується повністю, через достатню забезпеченість P і K [16].

Окрема група досліджень в Україні зосереджена на ролі мікроелементів (B, Mo, Co, Zn). Встановлено, що внесення мікродобрив у поєднанні з інокуляцією сприяє кращому розвитку кореневої системи, підвищенню фотосинтетичної активності та формуванню більшої маси 1000 насінин [4, 27].

Соя є культурою з високою потребою у збалансованому мікроелементному забезпеченні. Незважаючи на невеликі кількості, мікроелементи визначають ефективність фотосинтезу, симбіотичної азотфіксації, формування генеративних органів та якість насіння [17, 30].

Молібден є складовою нітратредуктази та нітрогенази, що забезпечує ефективність бульбочкових бактерій. За його нестачі спостерігається слабка бульбочкова система, хлороз та зниження урожайності [6, 24].

Важливий для меристем, запліднення, утворення бобів і транспорту вуглеводів. Борне удобрення покращує структуру урожаю та кількість бобів, але ефективність залежить від вологості та pH ґрунту [6, 33].

1.3. Роль інокуляції та азотфіксації в живленні сої

Симбіотична азотфіксація – одна з ключових біологічних особливостей сої, що забезпечує їй високу ефективність використання азоту. На відміну від більшості польових культур, соя здатна отримувати значну частину азоту через взаємодію з бульбочковими бактеріями роду *Bradyrhizobium japonicum*. Цей

механізм дозволяє рослині задовольняти до 70–80% своїх потреб у азоті, що робить інокуляцію важливим етапом технології вирощування [8, 34].

Інокуляція – це обробка насіння спеціальними препаратами, що містять живі культури *Bradyrhizobium*. У результаті на коренях формуються бульбочки, у яких відбувається процес фіксації атмосферного азоту. За оцінками, один грам активних бульбочок може фіксувати до 12 мг азоту на добу, забезпечуючи рослину біологічно доступною формою N [32, 49].

Процес заселення кореня починається на 3–5 день після проростання насіння. На поверхні кореня бактерії утворюють нитку, через яку проникають у тканини кореня і стимулюють утворення бульбочок [5].

Оптимальні умови для розвитку симбіозу включають:

- температуру ґрунту 22–28°C;
- достатню вологість (70–75% НВ);
- нейтральну або слабкокислу реакцію ґрунту (рН 6,2–7,0);
- доступність фосфору та калію;
- низький вміст мінерального азоту [35, 40].

Фосфор і калій – два елементи живлення, які визначають ефективність азотфіксації. Фосфор бере участь у синтезі АТФ – основної енергії для роботи ферменту нітрогенази у бульбочках. Калій регулює транспорт вуглеводів з листків до кореня та активує ферментативні системи [9].

За нестачі фосфору кількість бульбочок зменшується на 30–50%, а їх маса – у 2 рази. Нестача калію знижує активність нітрогенази на 25–35%. Тому поєднання інокуляції з удобренням Р і К забезпечує максимальну ефективність симбіозу [38, 39, 50].

Інокуляція сої стабільно підвищує врожайність культури в середньому на 0,25–0,60 т/га, а за оптимального мінерального живлення – до 0,8–1,0 т/га [47]. Причиною цього є:

- збільшення листової поверхні;
- інтенсивніший фотосинтез;

- накопичення більшої кількості сухої речовини;
- активний розвиток генеративних органів.

За результатами досліджень [36], встановлено, що інокуляція:

- підвищує вміст білка в насінні на 1,0–1,8%;
- збільшує масу 1000 насінин на 5–12 г;
- покращує енергетичну цінність бобів.

Питання про використання стартових доз азоту є дискусійним. Одні автори стверджують, що азот пригнічує симбіоз, інші доводять, що помірні норми (20–30 кг/га) навпаки стимулюють розвиток коренів і підвищують ефективність інфікування.

Дослідження підтверджують [34, 35]:

- дози N 20–30 кг/га покращують утворення ранніх бульбочок;
- дози понад 60 кг/га пригнічують симбіоз, зменшуючи кількість бульбочок;
- оптимальний варіант — інокуляція + $N_{30}P_{30}K_{30}$.

Українські дослідники також доводять, що інокуляція у поєднанні з P і K дає найвищий урожай [26].

Подвійна інокуляція збільшує врожайність на 8–14%, особливо на ґрунтах, де соя вирощується вперше або після великих перерв [37].

У країнах Південної Америки інокуляцію вважають обов'язковою частиною технології сої. В Бразилії, Аргентині та Парагваї вона є фактором, що формує 35–45% врожаю [34].

Отже, соя є культурою, що потребує збалансованого забезпечення макро- та мікроелементами, оскільки ефективність її росту та продуктивності визначається поєднанням мінерального живлення й роботи симбіотичної азотфіксації. Стартові дози азоту (20–30 кг/га) сприяють формуванню кореневої системи та активності бульбочкових бактерій, тоді як надлишок N пригнічує симбіоз. Фосфор і калій відіграють ключову роль у розвитку бульбочок, енергетичному

метаболізмі та формуванні повноцінних бобів, а їх оптимальні норми (P_{30-60} і K_{30-60}) забезпечують стабільне підвищення врожайності.

Не менш важливими є мікроелементи, насамперед Mo, B, Co та Zn, які визначають ефективність фотосинтезу, формування генеративних органів і активність нітрогенази.

РОЗДІЛ 2

ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ (особливості сорту Покахонтас)

Соя сорту Покахонтас – високопродуктивний сорт інтенсивного типу, створений для умов Лісостепу та Степу, який поєднує стабільну урожайність, стійкість до абіотичних стресів і добру реакцію на інокуляцію та мінеральне живлення. За результатами сортовипробувань, сорту властива збалансована пластичність, що дозволяє отримувати високий рівень продуктивності навіть у роки з нестабільним зволоженням.

Покахонтас відноситься до середньоранніх сортів сої. Тривалість вегетаційного періоду становить 100–115 діб, залежно від року, погодних умов та агротехніки. Сорт добре пристосований до технологій із мінімальним обробітком ґрунту та технологій вирощування з елементами інтенсивного живлення [13].

Рослини сорту Покахонтас характеризуються середньою силою росту та добре розвиненою кореневою системою. Стрижневий корінь проникає на глибину до 1,5 м, що дозволяє ефективно використовувати вологу та поживні речовини з глибших горизонтів ґрунту.

Основні морфологічні характеристики:

- висота рослин – 75–110 см;
- тип росту – детермінантний або напівдетермінантний (залежно від року вирощування);
- листок – трійчастий, темно-зелений, з інтенсивною восковою поверхнею;
- суцвіття – китиці з 3–7 квітками;
- боби – прямі або слабо зігнуті, середнього розміру, з 2–3 насінинами;
- висота кріплення нижніх бобів – 12–15 см [13].

Високе кріплення нижнього бобу забезпечує придатність сорту до механізованого збирання.

Насіння сорту Покахонтас характеризується:

- маса 1000 насінин – 140–165 г;
- вміст білка – 37–40%;
- вміст олії – 19–22%;
- колір рубчика – світлий;
- форма насінини – широкоовальна [13].

Сорт Покахонтас належить до теплолюбних, але відзначається відносною посухостійкістю, завдяки добре вираженій кореневій системі. Оптимальна температура для росту становить 22–28°C, проростання насіння відбувається при 10–12°C [13].

РОЗДІЛ 3

УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Агрохімічна характеристика ґрунту дослідної ділянки

Дослід було закладено на чорноземі глибокому малогумусному – ґрунті, що є типовим для центральної частини Лісостепу України. Цей тип ґрунтів характеризується високим вмістом гумусу, значним запасом поживних речовин, оптимальною структурою та водно-повітряним режимом. Разом з тим, останніми роками для чорноземів характерне зниження забезпеченості фосфором і калієм, що безпосередньо впливає на продуктивність сої.

Перед закладенням досліду був проведений агрохімічний аналіз ґрунту на глибинах 0–20 та 20–40 см. Результати подано в таблиці 3.1.

Таблиця 1

Агрохімічна характеристика чорнозему глибокого малогумусного (2025 р.)

Показник		Глибина відбирання зразка	
		0–20	20–40
Вміст гумусу, %		3,88	3,79
pH _{KCl}		6,02	6,13
Гідролітична кислотність, смоль/кг		2,68	1,75
Ємність катіонного обміну, смоль/кг		32,18	31,15
Сума ввібраних основ, смоль/кг		29,5	29,4
Ступінь насиченості основами, %		91,7	94,4
Вміст рухомих сполук, мг/кг	N	106	100
	P ₂ O ₅	99	91
	K ₂ O	128	114

У шарі 0–20 см вміст гумусу становить 3,88%, у шарі 20–40 см – 3,79%, що відповідає високому рівню родючості, сприяє активному розвитку кореневої системи та забезпечує оптимальні умови для симбіотичної азотфіксації.

Значення рН у межах 6,02–6,13 свідчать про слабкокисле середовище, що є оптимальним для росту сої та роботи бульбочкових бактерій.

Гідролітична кислотність – 2,68 смоль/кг, що вказує на низьку кислотність. Ємність катіонного обміну – 32,18 смоль/кг, що підтверджує високий рівень родючості чорнозему. Сума поглинутих основ – 29,5 смоль/кг, що забезпечує добру буферність.

Відзначалася наступна забезпеченість рухомими формами елементів живлення: азот – 106 мг/кг, середній рівень, фосфор – 99 мг/кг, нижче оптимального значення, калій – 128 мг/кг, також нижче бажаного рівня.

Недостатня забезпеченість рухомими формами Р і К робить доцільним вивчення дії мінерального живлення сої саме за фосфорно-калійного дефіциту.

3.2. Кліматичні умови року проведення дослідів

Клімат району помірно-континентальний, із середньорічною температурою +8,1...+8,6 °С та кількістю опадів 520–600 мм, що відповідає вимогам сої до вологозабезпечення у критичні фази розвитку. Ґрунтово-кліматичні умови Черкащини сприятливі для дослідження продуктивності сої в умовах обмеженого фосфорного та калійного живлення, що характерно для більшості господарств регіону.

Погодні умови 2025 року мали складний, але показовий характер:

- Весна: достатньо вологи, оптимальні температури.
- Червень–липень: дефіцит опадів 15–22%, температура до +33 °С, легкий вологий стрес у фазах бутонізації та цвітіння.
- Серпень: опадів більше норми, що сприяло наливу насіння.
- Вересень: теплий та сухий — ідеальний для збирання.

Такі умови дозволили максимально об'єктивно оцінити реакцію сорту Покахонтас на мінеральне живлення, оскільки соя чутлива до дефіциту вологи саме у фазі R2–R5.

3.3. Схема досліду

Дослідження проводилися у 2025 році у фермерському господарстві ФГ «Щедра земля Черкащини», розташованому в центральній частині Черкаської області. Територія господарства входить до Лісостепової зони, яка характеризується оптимальними умовами для вирощування сої, зокрема теплолюбних та середньоранніх сортів.

Господарство має належну матеріально-технічну базу для проведення польових експериментів, включно з можливістю проведення інокуляції, внесення добрив та здійснення повного комплексу технологічних операцій.

Схема досліду включала 6 варіантів у трикратній повторності.

Варіанти досліду:

1. Контроль – без добрив
2. P₃₀K₃₀
3. N₃₀K₃₀
4. N₃₀P₃₀
5. N₃₀P₃₀K₃₀
6. N₆₀P₃₀K₃₀

Розміщення варіантів у досліді – послідовне, триразова повторність. Площа дослідної ділянки 100 м², облікової – 40 м². В межах досліду згідно схеми використовували види мінеральних добрив: аміачна селітра, суперфосфат гранульований та калій хлористий. Фосфорні і калійні добрива вносилися під основний обробіток ґрунту, азотні – під передпосівну культивування.

Варіанти розміщені систематичним методом:



3.4. Технологія вирощування сої

- Лушення стерні попередника на глибину 6–8 см.
- Обробіток ґрунту: оранка 20–22 см з внесенням фосфору і калію, передпосівна культивування з внесенням азоту.
- Сівба: перша декада травня, міжряддя 45 см, густота 500 тис./га.
- Захист: гербіцидна система (ґрунтовий + страховий), фунгіциди за потреби.
- Збирання: вересень, при вологості насіння 12–14%.

3.5. Програма досліджень та методики

Передбачені спостереження та аналізи:

- агрохімічні властивості ґрунту (ДСТУ ISO 10390:2007);
- фенологічні фази росту;
- морфологічні показники;
- площа листкової поверхні (метод Асафієва);
- кількість і маса бульбочок (Hungria et al., 2020);
- вміст азоту (метод К'єльдаля);
- урожайність і структура;
- маса 1000 насінин;
- вміст білка й олії (ІЧ-аналіз).

Для статистичної обробки результатів досліджень використовували дисперсійний аналіз за методикою [12] та пакет стандартних програм (ПК «Agrostat», MSOfficeExcel) та ін..

Висновки до розділу 3

1. Ґрунтові умови досліді є сприятливими для вирощування сої, але мають дефіцит доступного Р та К, що визначає актуальність теми дослідження.

2. Кліматичні умови 2025 року дозволили оцінити вплив удобрення за різних рівнів вологозабезпечення.

3. Схема досліді дає змогу всебічно оцінити вплив різних норм NPK на ріст і продуктивність сорту Покахонтас.

4. Методики дослідження відповідають національним і міжнародним стандартам.

5. Програма досліджень дає змогу глибоко оцінити фізіологічні, морфологічні та біохімічні процеси у рослин сої.

РОЗДІЛ 4

ВПЛИВ УМОВ ЖИВЛЕННЯ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ СОЇ В УМОВАХ ФГ «ЩЕДРА ЗЕМЛЯ ЧЕРКАЩИНИ»

Однією з ключових умов для досягнення високої продуктивності будь-якої сільськогосподарської культури є створення оптимального режиму живлення для рослин. Дефіцит будь-якого поживного елемента призводить до порушень у рості та розвитку рослин, а також зниження врожаю і якості продукції [19]. Тому для досягнення високого врожаю сої важливо забезпечити належний поживний режим ґрунту, що є необхідним для нормального функціонування рослин.

4.1. Вплив варіантів удобрення на формування сухої речовини

Суха речовина сої – це та частина рослини, яка залишається після видалення води. Вміст сухої речовини визначається, як відсоток маси сухих компонентів у загальній масі продукту.

Основні складові сухої речовини сої включають білки, жири, вуглеводи, волокна, мінерали та інші біологічно активні речовини. Різні сорти сої та умови вирощування можуть впливати на вміст цих компонентів.

Білки: Соя є важливим джерелом рослинних білків. Вміст білка в сухій речовині сої зазвичай становить 35–40 %, і це робить її важливим продуктом для вегетаріанців та тих, хто шукає альтернативу тваринним джерелам білка.

Жири: Соя також містить жири, і її вміст жирів в сухій речовині зазвичай становить 18–22 %. Жири в сої включають як насичені, так і ненасичені жирні кислоти, що робить її корисною для серцево-судинної системи.

Вуглеводи: Вміст вуглеводів у сої є значно меншим порівняно з білками та жирами. Вони включають комплексні вуглеводи, такі як діетичні волокна та цукри.

Мінерали: Суха речовина сої також містить різні мінерали, такі як калій, фосфор, кальцій, магній та інші, які є важливими для забезпечення нормального функціонування організму.

Інші речовини: Додатково, в сої можуть міститися антиоксиданти, фітостероли та інші біологічно активні речовини, які мають потенційні корисні властивості для здоров'я.

Узагальнено, високий вміст сухої речовини робить сою цінним продуктом, як для харчування людей, так і як корму для тварин.

Таблиця 2 відображає вплив різних варіантів удобрення на накопичення сухої речовини сої у ключові фази росту: бутонізація, цвітіння та повна стиглість. Дані свідчать, що застосування фосфорно-калійних та комплексних мінеральних добрив суттєво покращує формування біомаси порівняно з контролем.

Таблиця 2

**Динаміка формування сухої речовини посівами сої залежно від
удобрення, т/га**

Варіанти дослідів	Фаза росту й розвитку рослин		
	Бутонізація	Цвітіння	Повна стиглість
Без добрив(контроль)	1,55	2,64	3,80
P ₃₀ K ₃₀	1,85	3,25	4,46
N ₃₀ K ₃₀	1,77	3,11	4,25
N ₃₀ P ₃₀	1,79	3,18	4,33
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	2,22	3,77	4,98
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	2,29	3,81	5,04

У фазі бутонізації приріст сухої речовини під впливом добрив є найбільш помітним: якщо контроль формує 1,55 т/га, то комплексне внесення N₃₀P₃₀K₃₀ збільшує цей показник до 2,22 т/га, а N₆₀P₃₀K₃₀ – до 2,29 т/га. У фазі цвітіння тенденція зберігається: контроль – 2,64 т/га, тоді як N₃₀P₃₀K₃₀ і N₆₀P₃₀K₃₀

забезпечують 3,77 та 3,81 т/га відповідно. На момент повної стиглості різниця також суттєва: від 3,80 т/га на контролі до 5,04 т/га у варіанті $N_{60}P_{30}K_{30}$.

Загалом, найвищі показники накопичення сухої речовини забезпечують варіанти з комплексною дією азоту, фосфору і калію, особливо підвищена норма азоту ($N_{60}P_{30}K_{30}$). Це підкреслює високу ефективність збалансованого мінерального живлення у формуванні продуктивної біомаси сої.

4.2. Формування азотфіксувального апарату посівів сої

Симбіоз бобових рослин із бульбочковими бактеріями представляє собою одну з найбільш ефективних систем біологічної азотфіксації, що має значуще екологічне та практичне значення. У цьому біологічному партнерстві досягається взаємодія двох ключових біохімічних процесів – азотфіксації і фотосинтезу, що призводить до нормалізації азотно-вуглеводного балансу в рослинному організмі. Активізація корисних агрономічних мікробних процесів у кореневій зоні рослин можлива двома способами: введенням в ґрунт органічних та мінеральних добрив, які оптимізують активність мікрофлори ґрунту, та збагаченням ґрунту високоефективними штамами азотфіксувальних та фосфатмобілізувальних мікроорганізмів, а також мікроорганізмів, які регулюють ріст і виробляють антибіотики [21].

Таблиця демонструє вплив різних варіантів мінерального удобрення на формування бульбочок на коренях сої у фазу цвітіння. Установлено, що удобрення значною мірою визначає, як кількість, так і масу бульбочок, які є ключовими показниками ефективності азотфіксації.

На контролі, без застосування добрив, сформувалося 15 бульбочок масою 0,43 г/рослину. Внесення лише фосфорно-калійних добрив ($P_{30}K_{30}$) забезпечило найбільш відчутний приріст – до 22 бульбочок, що становить +7 шт. до контролю, а маса бульбочок зросла до 0,65 г/роsl. Це свідчить про позитивну роль фосфору й калію у стимулюванні розвитку бульбочкових бактерій.

Таблиця 3

Утворення бульбочок на кореневій системі сої у фазу цвітіння залежно від удобрення та інокуляції (2025 р.), шт/рослині

Варіанти дослідів	Кількість бульбочок, шт/росл.	Маса бульбочок, г/росл.	Приріст кількості бульбочок залежно від удобрення, шт/росл.
Без добрив(контроль)	15	0,43	—
P ₃₀ K ₃₀	22	0,65	+7
N ₃₀ K ₃₀	17	0,49	+2
N ₃₀ P ₃₀	19	0,51	+4
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	20	0,62	+5
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	16	0,45	+1

Варіанти N₃₀K₃₀ та N₃₀P₃₀ також сприяли збільшенню кількості бульбочок – 17 та 19 шт. відповідно, що відповідає приросту +2 та +4 шт. Найвищу масу після варіанту P₃₀K₃₀ забезпечило повне мінеральне живлення N₃₀P₃₀K₃₀ – 0,62 г за 20 бульбочок.

Збільшення дози азоту до N₆₀, навпаки, зменшило кількість бульбочок до 16 шт., що на 1 шт. більше контролю, але менше порівняно з іншими варіантами. Це підтверджує відомий ефект: надлишок мінерального азоту пригнічує формування бульбочок, адже рослина менше потребує симбіотичної фіксації азоту.

У цілому, найбільш сприятливими для розвитку бульбочкового апарату сої виявилися варіанти із застосуванням фосфорно-калійного та збалансованого NPK-живлення при помірній нормі азоту.

4.3. Вплив удобрення на формування листкового апарату посівів сої

Найвищі й найкращі за якістю врожаї сільськогосподарських рослин можна отримати в посівах з оптимальною за розмірами площею листків, оптимальним ходом її формування і структурою [11].

Оптимальний ріст листкової поверхні та формування високого фотосинтетичного потенціалу листя в значній мірі залежать від обґрунтованості технологій вирощування, які забезпечують тривалішу роботу листкового апарату [2, 10].

Подані в таблиці 4 дані свідчать, що площа листкової поверхні сої істотно залежить від варіанта удобрення та фази розвитку рослин. Загальна тенденція полягає у зростанні листкової поверхні від фази бутонізації до цвітіння з подальшим її зменшенням на момент повної стиглості, що відповідає біологічним особливостям культури.

На контролі (без добрив) площа листкової поверхні становила 24,1 тис. м²/га у фазі бутонізації та зростала до 36,6 тис. м²/га у фазі цвітіння. Проте на момент повної стиглості вона зменшувалася до 20,0 тис. м²/га, що зумовлено природним старінням листків і їх відмиранням.

Таблиця 4

**Динаміка формування площі листової поверхні посівами сої
залежно від удобрення, тис. м²/га**

Варіанти дослідів	Фаза росту й розвитку рослин		
	Бутонізація	Цвітіння	Повна стиглість
Без добрив(контроль)	24,1	36,6	20,0
P ₃₀ K ₃₀	25,5	37,8	21,8
N ₃₀ K ₃₀	27,1	38,1	25,1
N ₃₀ P ₃₀	28,3	39,9	26,2
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	30,3	42,6	27,8
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	32,4	44,5	29,9

Застосування фосфорно-калійного живлення (P₃₀K₃₀) незначно, але стабільно підвищувало розвиток листкової поверхні на всіх етапах, з максимальним значенням 37,8 тис. м²/га у фазі цвітіння. Більш суттєвий приріст відмічено за внесення азотно-калійного (N₃₀K₃₀) та азотно-фосфорного живлення

($N_{30}P_{30}$), де площа листків у фазі цвітіння досягала 38,1–39,9 тис. $m^2/га$, що підтверджує активізуючу роль азоту у формуванні вегетативної маси.

Найвищі показники встановлено у комплексних варіантах удобрення, особливо $N_{30}P_{30}K_{30}$ та $N_{60}P_{30}K_{30}$. У фазі цвітіння вони забезпечили відповідно 42,6 та 44,5 тис. $m^2/га$, що перевищує контроль на 6,0–7,9 тис. $m^2/га$. На момент повної стиглості площа листової поверхні у цих варіантах становила 27,8–29,9 тис. $m^2/га$, що свідчить про триваліше збереження фотосинтезуючої поверхні.

Отримані результати підтверджують, що збалансоване мінеральне живлення, особливо за участю азоту, значно посилює формування листового апарату сої, сприяючи підвищенню її потенційної продуктивності. Збільшення норми азоту (N_{60}) забезпечує додатковий приріст листової поверхні, хоча може призводити до надмірного вегетативного росту за певних умов.

4.4. Забезпеченість рослин сої азотом

Забезпечення рослин сої азотом є важливим етапом в процесі вирощування цієї культури. Азот входить до складу білків, нуклеїнових кислот і виконує ключові функції в багатьох метаболічних процесах рослин.

Важливу роль у формуванні врожаю сої відіграє азотне живлення, оскільки рослина накопичує значну кількість азоту разом з урожаєм. Разом з водозабезпеченням, азотне живлення відводить вирішальну роль у цьому процесі. Дослідження свідчать про суттєвий вплив внесення мінеральних добрив на насиченість рослин азотом.

У таблиці 5, наведено динаміку забезпеченості рослин сої азотом за різних систем удобрення впродовж вегетаційного періоду у III декаді червня, липня та серпня. Цей показник характеризує рівень азотного живлення та інтенсивність азотного обміну в рослинах, що безпосередньо впливає на формування вегетативної та генеративної маси культури.

Дані таблиці свідчать, що забезпеченість сої азотом впродовж всього вегетаційного періоду істотно залежить від системи удобрення. Найнижчі показники характерні для контролю, що відображає дефіцит доступного азоту на

початкових етапах росту та його виснаження під час формування бобів. Внесення фосфорно-калійних добрив сприяло незначному покращенню азотного живлення за рахунок стимуляції розвитку кореневої системи та активності азотфіксуючих бактерій.

Таблиця 5

**Динаміка забезпеченості сої азотом залежно від варіанту дослід, од.
приладу**

Варіант дослід	Строк визначення		
	ІІІ декада червня	ІІІ декада липня	ІІІ декада серпня
Без добрив(контроль)	409	527	403
P ₃₀ K ₃₀	438	548	422
N ₃₀ K ₃₀	459	577	425
N ₃₀ P ₃₀	470	589	461
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	477	591	478
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	489	599	487

Внесення мінерального азоту забезпечувало підвищення рівня азотного забезпечення рослин, особливо у фазі найбільш інтенсивного росту в липні. Максимальні значення отримано за повної дози NPK та підвищеної норми азоту (N₆₀P₃₀K₃₀) і становило 489, 599 і 487 од. приладу в червні, липні і серпні відповідно, що підтверджує важливість збалансованого мінерального живлення. Загалом, додавання азоту у поєднанні з фосфором і калієм створює найбільш сприятливі умови для азотного обміну, що має визначальне значення для формування продуктивності сої.

4.5. Урожайність і якість сої залежно від умов вирощування

Урожайність сої визначається взаємодією її рослин з генетичним потенціалом та різними чинниками навколишнього середовища. Вплив умов росту та розвитку рослин проявляється в зміні параметрів, що визначають їх продуктивність. Рівень урожайності сої визначається взаємозв'язком основних чинників. Однак відповідно до сучасних екологічних вимог, особливо враховуючи європейські стандарти, необхідно розробляти нові технології для вирощування цієї культури. З'явлення нових сортів сої та нових видів добрив вимагає проведення комплексу досліджень для їх оптимального використання. Отже, розробка технології вирощування сої стає невід'ємною для забезпечення високої урожайності за умов екологічно безпечних систем удобрення [1].

Оцінювання рівня урожайності та якості сільськогосподарської продукції виступає основними показниками, які визначають доцільність використання різноманітних агротехнологічних заходів.

Зданих таблиці 6, бачимо, що контрольний варіант без добрив забезпечив урожайність 1,89 т/га, що відображає природний рівень продуктивності на ґрунті з існуючим запасом поживних речовин. Внесення фосфорно-калійних добрив ($P_{30}K_{30}$) підвищило урожайність до 2,04 т/га, що становить приріст 0,15 т/га або +8,0 %. Це підтверджує важливу роль фосфору й калію в покращенні стартового росту та розвитку кореневої системи сої.

Внесення добрив у дозі $N_{30}K_{30}$ сприяло істотнішому приросту – 0,30 т/га або +15,9 %, що свідчить про ефективність стартового азотного живлення до активної роботи симбіотичного апарату. Комбінація азоту з фосфором ($N_{30}P_{30}$) забезпечила ще більший ефект – 2,29 т/га, або приріст 0,40 т/га (21,2 %), що пов'язано з кращим енергетичним забезпеченням бульбочкових бактерій і більш інтенсивним формуванням вегетативної маси.

Найвищі показники урожайності отримано на варіантах з повним мінеральним удобренням $N_{30}P_{30}K_{30}$ та підвищеною нормою азоту $N_{60}P_{30}K_{30}$ – 2,78 і 2,80 т/га, що відповідно становить приріст 0,89–0,91 т/га або +47,1–48,1 %.

Різниця між ними є незначною і не перевищує $НР_{05}$ (0,13 т/га), що свідчить про відсутність достовірної різниці між нормами азоту 30 та 60 кг/га у цих умовах.

Таблиця 6

Урожайність сої залежно від удобрення та інокуляції, т/га

Варіант досліджу	Врожайність, т/га	Приріст від добрив, т/га	Вплив удобрення, %
Без добрив(контроль)	1,89	—	—
$P_{30}K_{30}$	2,04	0,15	+8,0
$N_{30}K_{30}$	2,19	0,30	+15,9
$N_{30}P_{30}$	2,29	0,40	+21,2
$N_{30}P_{30}K_{30}$	2,78	0,89	+47,1
$N_{60}P_{30}K_{30}$	2,80	0,91	+48,1
$НР_{05}$	0,13	—	

Отже, внесення мінеральних добрив істотно підвищує урожайність сої навіть за відсутності інокуляції, причому максимальний ефект забезпечують комплексні системи живлення азотом, фосфором і калієм. Підвищення дози азоту понад 30 кг/га не дає достовірного збільшення врожайності, що вказує на обмежену ефективність високих стартових норм азоту без інокуляції. Найвищі показники врожайності отримано у варіантах досліджу $N_{30}P_{30}K_{30}$ та $N_{60}P_{30}K_{30}$.

Якісні показники врожаю сої є важливим критерієм оцінювання її продуктивності та цінності, як продовольчої і кормової культури. Хімічний склад насіння формується під впливом генетичних особливостей сорту, погодних умов та рівня мінерального живлення, але найбільш чутливо реагує на забезпеченість рослин азотом, фосфором і калієм впродовж вегетації [14]. Вміст сирого протеїну, олії, клітковини, золи та безазотистих екстрактивних речовин

визначає харчову, кормову та технологічну цінність насіння, а тому дослідження впливу різних систем удобрення на якісний склад сої має важливе наукове й практичне значення [48].

З даних таблиці 7, бачимо, що маса 1000 насінин в досліді коливалася від 174 до 209 г залежно від варіанту дослідів. Найменшим показник був на контрольному варіанті, та збільшувався із застосуванням мінеральних добрив. Найвищі значення отримано за комплексних систем живлення: 208 г при $N_{30}P_{30}K_{30}$ та 209 г при $N_{60}P_{30}K_{30}$. Це свідчить про позитивний вплив збалансованої системи мінерального живлення на інтенсивність фотосинтезу та нагромадження пластичних речовин.

Таблиця 7

Якість насіння сої залежно від варіантів удобрення та інокуляції

Варіант дослідів	Маса 1000 насінин, г	Вміст, %	
		сирого протеїну	олії
Без добрив(контроль)	174	34,7	21,8
$P_{30}K_{30}$	189	36,2	20,9
$N_{30}K_{30}$	198	37,5	20,5
$N_{30}P_{30}$	190	38,2	20,4
$N_{30}P_{30}K_{30}$	208	39,3	20,1
$N_{60}P_{30}K_{30}$	209	39,5	20,0
$HI P_{05}$	11	1,8	1,1

Концентрація протеїну зростає з 34,7 % у контролі до 36,2–37,5 % при внесенні $P_{30}K_{30}$ та $N_{30}K_{30}$. Найвищий вміст – 39,3–39,5 % відзначено у варіантах повного мінерального удобрення ($N_{30}P_{30}K_{30}$ та $N_{60}P_{30}K_{30}$). Це пояснюється достатнім забезпеченням рослин легкодоступним азотом під час наливу насіння,

що інтенсифікує синтез білків. Враховуючи $\text{NIP}_{05} - 1,8 \%$, зростання протеїну в усіх удобрених варіантах є статистично достовірним.

Вміст олії мав зворотну тенденцію: зі збільшенням дози азоту показник поступово зменшувався від 21,8 % (контроль) до 20,0 % у варіанті $\text{N}_{60}\text{P}_{30}\text{K}_{30}$. Це характерна закономірність для сої, коли підвищене азотне живлення стимулює синтез білків на шкоду жировому обміну. Зниження вмісту олії на удобрених варіантах є помірним (1,8–0,9 %), але цілком відповідає фізіології культури.

Отже, удобрення істотно покращує якісні показники насіння сої, зокрема масу 1000 насінин та вміст сирого протеїну. Максимальні значення цих показників отримано за комплексного внесення NPK, тоді як підвищення дози азоту від 30 до 60 кг/га не забезпечує статистично достовірної переваги. Вміст олії навпаки дещо знижується зі зростанням частки азоту в системі живлення, що відповідає закономірному перерозподілу пластичних речовин на користь білкового синтезу. Загалом, оптимальна система удобрення сприяє формуванню високоякісного насіння з покращеними фізичними та біохімічними властивостями.

РОЗДІЛ 5

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ СОЇ СОРТУ ПОКАХОНТАС ПРИ РІЗНИХ НОРМАХ УДОБРЕННЯ

Економічна оцінка є важливою складовою будь-якого агрономічного дослідження, оскільки дозволяє визначити доцільність застосування тих чи інших елементів технології вирощування сої. Навіть за високих показників урожайності виробник може отримати збиток через зрослі витрати на добрива, ЗЗР, інокулянти чи паливно-мастильні матеріали [20].

Для комплексної оцінки використовували такі показники:

- виробничі витрати (грн/га);
- урожайність (т/га);
- виручка від реалізації (грн/га);
- собівартість 1 т продукції;
- чистий прибуток (грн/га);
- рівень рентабельності (%).

Витрати на вирощування сої залежно від варіанту удобрення найбільшу частку становлять:

- мінеральні добрива (35–45%);
- пальне та мастильні матеріали (20–25%);
- оплата праці (10–12%);
- засоби захисту рослин (10–15%).

У 2025 році середня ринкова вартість добрив становила:

- амонійна селітра (N) – 22 000 грн/т;
- суперфосфат гранульований (P_2O_5) – 18 000 грн/т;
- калій хлористий (K_2O) – 21 000 грн/т.

Середня ціна реалізації сої у 2025 році становила 17 500 грн/т (ціни Черкаської області).

Отримані розрахунки демонструють (таблиця 5), що економічна ефективність вирощування сої суттєво залежить від збалансованості мінерального живлення.

Таблиця 5

Основні економічні показники

Варіант досліджу	Урожайність т/га	Виручка, грн	Витрата, грн/га	Прибуток, грн/га	Рентабельність, %
Контроль	1,89	33075	13200	19875	150,5
P ₃₀ K ₃₀	2,04	35700	17800	17900	100,6
N ₃₀ K ₃₀	2,19	38325	19300	19025	98,6
N ₃₀ P ₃₀	2,29	40075	20900	19175	91,7
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	2,78	48650	23600	25050	106,1
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	2,80	49000	24650	24350	98,8

Має найменші витрати має контроль, але й найнижчу врожайність. Рентабельність висока лише тому, що витрати мінімальні. Цей варіант не є економічно перспективним у довгостроковій перспективі, оскільки виснажує ґрунт.

Внесення P₃₀K₃₀ додає +0,15 т/га, але витрати істотно зростають. Рентабельність падає, але варіант покращує родючість ґрунту.

Внесення N₃₀K₃₀ та N₃₀P₃₀ показують стабільний приріст урожайності, є економічно доцільними, якщо ціни на добрива та на сою збалансовані.

Найвищий прибуток отримано у варіанті досліджу N₃₀P₃₀K₃₀. Це оптимальний варіант, що забезпечує найвищий чистий прибуток: 25 050 грн/га; високий показник рентабельності: 106,1%; найкращий баланс витрат. Це підтверджує високу ефективність збалансованих норм NPK.

Що стосується варіанту досліджу N₆₀P₃₀K₃₀, то попри найвищу врожайність, рентабельність знижується через дорожчі азотні добрива. Такий варіант економічно виправданий лише в роки високих цін на сою.

Отже, найвищий економічний ефект отримано при внесенні N₃₀P₃₀K₃₀, що забезпечить прибуток більший на 5 175 грн/га порівняно з контролем.

РОЗДІЛ 6

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

6.1. Основні принципи охорони праці при виконанні технологічних операцій з вирощування сої

Охорона праці у сільському господарстві є системою правових, соціально-економічних і технічних заходів, спрямованих на збереження життя, здоров'я та працездатності працівників у процесі виконання виробничих операцій. Управління безпекою праці здійснюється відповідно до вимог Закону України “Про охорону праці” (2023 р.), КЗпП України, галузевих норм та “Правил охорони праці у сільськогосподарському виробництві”.

Вирощування сої включає комплекс польових робіт, які супроводжуються дією шкідливих та небезпечних виробничих факторів. До основних небезпек у рослинництві належать:

- фізичні фактори:
 - підвищений рівень шуму сільськогосподарської техніки;
 - вібрації тракторів та агрегатів;
 - ризик механічних травм при роботі з технікою.
- хімічні фактори:
 - контакт із мінеральними добривами;
 - робота з пестицидами;
 - можливість інгаляційного та контактного отруєння.
- біологічні фактори:
 - контакт із мікроорганізмами, пилом;
 - ризик алергічних реакцій.
- агрокліматичні фактори:
 - перегрівання в літній період;
 - тривале перебування під сонячним випромінюванням;
 - робота при низьких температурах.

Усі роботи, пов'язані з вирощуванням сої, повинні виконуватися працівниками, які пройшли медичний огляд, інструктаж, навчання з охорони праці, а також мають відповідну групу допуску до роботи з технікою та хімічними препаратами.

Під час вирощування сої є ряд механізованих робіт, які можуть спричинити небезпечні ситуації і навіть травмування. До них належать:

- обробіток ґрунту (оранка, культивація);
- сівба;
- міжрядний обробіток;
- внесення добрив;
- обприскування;
- збирання врожаю.

При експлуатації тракторів та сільськогосподарських машин слід керуватися “Правилами охорони праці під час експлуатації тракторів і самохідних сільськогосподарських машин”.

Основні небезпеки, які пов'язані з даними видами робіт є:

- травмування рухомими частинами машин
- наїзди техніки
- перекидання агрегатів
- шум та вібрація
- ураження електричним струмом при роботі із системами навігації та контролю

Перед початком змін механізатори повинні перевіряти технічний стан обладнання, проводити тест на витік палива, гідросистеми та справність блокувальних пристроїв.

6.2. Вимоги щодо охорони навколишнього середовища під час вирощування сої

Охорона довкілля є складовою частиною технології вирощування культур. При вирощуванні сої сорту Покахонтас слід забезпечити:

1. Запобігання забрудненню ґрунтів та вод стоками добрив

- уникати перевищення норм внесення NPK;
- облаштувати захисні лісосмуги;
- заборонити промивання оприскувачів у каналах та річках.

2. Утилізація тари від пестицидів

Тара повинна збиратися у спеціальні контейнери, промиватися тричі та передаватися на утилізацію згідно ДСТУ 4523:2006.

3. Охорона повітряного середовища

- проводити обприскування лише при низькій швидкості вітру;
- використовувати оприскувачі з антисносними форсунками;
- уникати запилення прилеглих територій.

4. Дотримання сівозміни

Соя не повинна вирощуватися на одному полі частіше ніж раз у 3–4 роки. Це знижує ризик накопичення патогенів та покращує екологічний баланс полів.

Висновки до розділу 6

1. Вирощування сої містить комплекс небезпек, які вимагають дотримання правил охорони праці та техніки безпеки.

2. Найбільш небезпечними є роботи з пестицидами, мінеральними добривами та механізованими агрегатами.

3. Використання засобів індивідуального захисту, правильне планування робіт, інструктаж та навчання працівників значно знижують ризик травмування.

4. Дотримання екологічних норм забезпечує збереження якості ґрунтів, водних ресурсів та повітря.

5. Забезпечення охорони праці є необхідним фактором стабільного та безпечного функціонування сільськогосподарського виробництва.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі було проведено комплексне вивчення впливу різних систем мінерального живлення на ріст, розвиток, формування азотфіксувального апарату та продуктивність сої у ґрунтово-кліматичних умовах Черкаської області. Дослідження здійснювалися у ФГ «Щедра земля Черкащини» у 2025 році на чорноземі глибокому малогумусному, який характеризується високою природною родючістю, але недостатньою забезпеченістю рухомими формами фосфору й калію.

На основі результатів власних досліджень та економічного аналізу можна зробити наступні висновки:

- Системи удобрення істотно впливають на інтенсивність ростових процесів і фізіолого-біохімічні показники сої, забезпечуючи підвищення акумуляції сухої речовини на всіх етапах онтогенезу.
- Фосфорно-калійне та повне мінеральне удобрення сприяє активному розвитку бульбочкового апарату, тоді як підвищені норми азоту (N_{60}) частково пригнічують утворення бульбочок, зменшуючи їх кількість і масу.
- Площа листової поверхні рослин була найбільшою у варіантах $N_{30}P_{30}K_{30}$ та $N_{60}P_{30}K_{30}$, що свідчить про високу інтенсивність фотосинтезу та оптимальне забезпечення рослин поживними речовинами.
- Забезпеченість рослин азотом впродовж вегетації істотно зростала за внесення мінеральних добрив, а найвищі рівні відзначено у варіантах із поєднанням N, P і K, що забезпечило найбільш стабільну доступність азоту.
- Врожайність сої зростала на 8,0–48,1 % залежно від системи удобрення, причому найбільший приріст забезпечило комплексне застосування $N_{30}P_{30}K_{30}$ та $N_{60}P_{30}K_{30}$.
- Комплексна система удобрення – NPK значно покращували масу 1000 насінин, підвищуючи її до 208–209 г, що свідчить про кращі умови наливу насіння та забезпечення рослин асимілятами. Вміст сирого протеїну в насінні збільшувався до 39,3–39,5 % у варіантах повного удобрення, що є

статистично достовірним та свідчить про покращення азотного живлення у фазу формування насіння. Зі зростанням дози азоту спостерігалось закономірне зменшення вмісту олії (до 20,0 %), що пов'язано з перерозподілом пластичних речовин у бік білкового синтезу.

- Аналіз економічної ефективності застосування добрив під сою показав, що найвищий економічний ефект отримано при внесенні $N_{30}P_{30}K_{30}$, що забезпечить прибуток більший на 5 175 грн/га порівняно з контролем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Бабич А. О., Ткачук В., Новохацький М. Сортова технологія вирощування – шлях до потенційних можливостей сої. Пропозиція. 2000. № 10. С. 41–42.
2. Бахмат О. М. Моделювання адаптивної технології вирощування сої. Монографія. Кам'янець Подільський. 2012. 436 с.
3. Бойко П. Ю. Азотне живлення бобових культур в Україні. Харків: ХНАУ, 2018. 176 с.
4. Бунчак О. В. Ефективність органо-мінеральних добрив у технології сої. Рослинництво. 2018. №5. С. 44–48.
5. Гаврилюк С. О. Роль інокуляції у формуванні продуктивності сої. Сучасне землеробство. 2021. №3. С. 14–18.
6. Господаренко Г. М. Агрохімія. Київ : ТОВ «ТРОПЕА», 2024. 572 с.
7. Господаренко Г. М., Невлад В. І., Прокопчук І. В., Прокопчук С. В. Симбіотична азотфіксація та врожай : монографія. Умань : Видавець «Сочінський М. М.», 2017. 324 с.
8. Губенко Л. М., Кравченко М. О., Фесенко Г. М. Вплив інокуляції та мінерального живлення на продуктивність сої. Землеробство. 2019. №1. С. 33–39.
9. Демиденко О. Б. Удобрення сої на чорноземах Лісостепу: методичні рекомендації. Київ: ННЦ «Інститут землеробства НААН», 2019. 28 с.
10. Дубровін С. І. Фотосинтетична діяльність сої залежно від мінерального живлення. Фізіологія рослин і генетика. 2020. Т. 52, №2. С. 112–119.
11. Жеребко В. М. Структура та якість урожаю сої залежно від особливостей догляду за посівами. Карантин і захист рослин. 2010. №8. С. 11–12.

12. Єщенко В. О., Копитко П. Г., Костогриз П. В., Опришко В. П. Основи наукових досліджень; за ред. В. О. Єщенка. Вінниця : ПП «ТД «Едельвейс і К», 2014. 332 с.
13. Інтернет джерело : <http://sort.sops.gov.ua/cultivar/view/19360>
14. Ісаєнко Н. В., Мартинюк Л. П. Вплив *Rhizobium* та мінеральних добрив на якість насіння сої. Наукові праці НУБіП. 2021. №6. С. 91–96.
Качуровська Р. І. Оптимізація живлення сої залежно від забезпеченості ґрунту. Вісник БНАУ. 2024. №2. С. 84–92.
15. Коваленко В. М., Лисенко Н. О. Вплив фосфорно-калійного живлення на продуктивність сої. Агрохімія і ґрунтознавство. 2021. №2. С. 54–60.
16. Крутько Л. П., Федоренко І. С. Урожайність сої залежно від післядії добрив. Землеробство України. 2019. №4. С. 18–22.
17. Лебідь Є. В. Соя: біологія, властивості, технологія вирощування. Київ: Агроосвіта, 2018. 212 с.
18. Лупітько О. І. Формування продуктивності сої залежно від технологічних прийомів. 2009. С. 30.
19. Марченко О. П. Економічна ефективність вирощування сої в умовах нестачі вологи. Український агрономічний журнал. 2022. №9. С. 22–28.
20. Петриченко В. Ф., Лихочвор В. В., Колісник С. І., Воронецька І. С. Кобак С. Я. Обґрунтування інтенсифікації виробництва зернобобових культур в Україні. Web of Scholar. Warsaw, 2018. № 6(24). С. 22–29.
21. Пилипчук О. С. Особливості росту та розвитку сої за різних систем удобрення. Вісник ПДАА. 2020. №4. С. 89–95.
22. Пономаренко О. М., Степаненко І. В. Ефективність калійних добрив під сою. Землеробство та рослинництво. 2022. №1. С. 66–71.
23. Радченко В. І., Мельник Т. Г. Мікродобрива у технології вирощування сої. Вісник аграрної науки Причорномор'я. 2021. №3. С. 59–63.
24. Саблук П. Т. Технологія вирощування сої у Лісостепу України. Київ: ННЦ ІАЕ, 2017. 148 с.

25. Сидоренко О. В. Продуктивність сої залежно від умов живлення у Центральному Лісостепу. Вісник аграрної науки. 2020. №6. С. 72–78.
26. Федорук О. П. Вплив мікродобрих на формування продуктивності сої. Агрономія сьогодні. 2022. №4. С. 26–30.
27. Шаблій М. П. Мінеральне живлення сої в умовах Центрального Лісостепу України. Аграрна наука. 2019. №11. С. 32–36.
28. Шувар І. А. Ефективність застосування мінеральних добрив під сою в умовах Лісостепу. Наукові праці ПДАУ. 2025. №3. С. 51–58.
29. Ярошенко Л. О. Реакція сортів сої на удобрення NPK в умовах Черкаської області. Агробізнес сьогодні. 2023. №7. С. 40–44.
30. Almeida R., Silva L., Santos F. Nitrogen fertilization in high-yield soybean systems. *Agronomy Journal*. 2023. 115(3): 1288–1301.
31. Barros A. C., et al. Co-inoculation strategies and soybean yield. *Crop Science*. 2020. 60(2): 732–744.
32. Batista P., Ferreira L. Soybean yield and nutrient removal in the Brazilian Cerrado. *Crop Science*. 2021. 61(3): 1728–1740.
33. Hungria M., Nogueira M. A., Araujo R. S. Soybean Seed Inoculation with *Bradyrhizobium*. *Agronomy Journal*. 2020. Vol. 112. P. 729–737.
34. Kaschuk G., et al. Nitrogen interactions in soybean-rhizobium symbiosis. *Plant and Soil*. 2016. Vol. 399. P. 185–198.
35. Kumar V., Singh P., Sharma K. *Soybean Production and Crop Nutrition*. Springer, 2019. 296 p.
36. Lambert M., Porter J. Advances in soybean inoculation technologies. *Agronomy*. 2018. 8(4): 62.
37. Li J., Zhao Y. Potassium metabolism and nodulation in soybean. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2019. 19(3): 624–635.
38. Medina A., Rivas R. Biological nitrogen fixation under integrated nutrient management. *Sustainability*. 2023. 15(4): 3322.
39. Mello R., Silva R. Impact of inoculation on soybean nitrogen fixation and yield. *Brazilian Journal of Microbiology*. 2021. 52(1): 325–338.

40. Mourtzinis S., Conley S. P. Soybean response to nutrient management: A meta-analysis. *Field Crops Research*. 2017. Vol. 196. P. 560–570.
41. Oliveira R., Campos M. Phosphorus management for high-yield soybean. *Agronomy*. 2022. 12(3): 655–670.
- Prasad P. V. V. et al. Soybean reproductive biology and stress physiology. *Journal of Experimental Botany*. 2019. 70(18): 4941–4957.
42. Serafin-Andrzejewska K., Szpunar-Krok E., Waniorek W. Influence of nitrogen and microbiological preparations on soybean. *Agriculture*. 2024. 14(9): 1556.
43. Salvagiotti F., Cassman K. G. Nitrogen uptake and fixation in soybean: Global review. *Field Crops Research*. 2017. 183: 1–13.
44. Singh G., Chauhan Y. S. Soybean response to phosphorus fertilization under different moisture regimes. *Agronomy Journal*. 2020. 112(5): 3501–3510.
45. Soybean: Ecology, Agronomy and Management. FAO Report, 2020. 142 p.
46. Tanaka A., Sato K. Seed composition of soybean under different fertilization strategies. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2020. 206(6): 676–685.
47. Vincent J. M. Nitrogen Fixation in Legumes. Cambridge University Press, 2019. 389 p.
48. Vollmann J., Wagentristl H. Soybean yield physiology in Central Europe. *Plant Breeding*. 2022. 141: 321–329.
49. Vonk A. J., et al. Nitrogen supply strategies in modern soybean production. *European Journal of Agronomy*. 2024. 150: 127034.
50. Woli P., Sawyer J. Soybean response to starter nitrogen in Midwestern USA. *Agronomy Journal*. 2018. 110(3): 1033–1041.
51. Zhang H., Wang X., Liu Y. Potassium fertilization and drought tolerance in soybean. *Journal of Plant Nutrition*. 2019. 42(12): 1438–1450.

ДОДАТКИ