

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
АГРОБІОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

ПОГОДЖЕНО

**Декан агробіологічного
факультету**

доктор с.-г. наук професор

_____ Віталій КОВАЛЕНКО

«————» ————— 2025 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

**Агрохімії та якості продукції
рослинництва ім. О.І. Душечкіна**

доктор с.-г. наук професор

_____ Дмитро ЛІТВІНОВ

«————» ————— 2025 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему: «Оптимізація мінерального живлення соняшнику за ґрунтової
неоднорідності поля»**

Спеціальність 201 - Агрономія

Освітня програма Агрохімсервіс у прецизійному агровиробництві

Орієнтація освітньої програми Освітньо-професійна

Гарант освітньої програми

доктор с.-г. наук професор

_____ Анатолій БИКІН

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

доктор с.-г. наук, професор

_____ Дмитро ЛІТВІНОВ

Виконала

_____ Софія КУРМАН

КИЇВ – 2025 р

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
АГРОБІОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри агрохімії та якості
продукції рослинництва ім. О.І. Душечкіна
_____ Дмитро ЛІТВІНОВ.

« _____ » _____ 20__ року

**ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
ЗДОБУВАЧУ**

_____ Курман Софії Ярославівні _____

Спеціальність _____ 201 Агрономія _____
(код і назва)

Спеціалізація _____ Агрохімсервіс у прецизійному агровиробництві _____
(назва)

Магістерська програма _____ Агрохімсервіс у прецизійному агровиробництві _____
(назва)

Програма підготовки _____ Освітньо-професійна _____

Тема магістерської роботи: Оптимізація мінерального живлення соняшнику за ґрунтової неоднорідності поля затверджена наказом ректора НУБіП України № 1978 «С» від 18.09.2025

Термін подання завершеної роботи на кафедру 8.11.2025 р.

Вихідні дані до магістерської роботи: результати польових досліджень.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Вегетаційний індекс соняшнику.
2. Агрохімічні показники чорнозему вилугованого
3. Агрохімічний наземний моніторинг
4. Біометричні показники.
5. Урожайність та якість насіння соняшнику.
6. Економічна ефективність вирощування соняшнику

Дата видачі завдання: « _____ » _____ 20__ р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи: _____ Дмитро ЛІТВІНОВ

Завдання прийняла до виконання: _____ Софія КУРМАН

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ВИВЧЕННЯ ПИТАННЯ ОПТИМІЗАЦІЇ МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ СОНЯШНИКУ ЗА ГРУНОВОЇ НЕОДНОРІДНОСТІ ПОЛЯ (огляд літератури).....	9
1.1 Просторова неоднорідність ґрунтового покриву та її вплив на системи обробітку ґрунту, на ріст та розвиток рослин	9
1.2 Вплив мінеральних добрив на ґрунт, оптимізація мінерального живлення .	12
1.3 Роль соняшнику як культури світового рівня.	18
1.4 Вплив біопрепаратів на розвиток і стан агроценозу соняшника.....	25
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	30
2.1 Ґрунтово–кліматичні умови місця проведення досліджень.....	31
2.2. Погодно-кліматичні умови господарства.....	32
2.3 Програма і методика проведення досліджень.	35
2.4 Технологія вирощування соняшнику	39
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	40
3.1 Зміна агрохімічних показників ґрунту залежно від досліджуваних чинників	40
3.2 Аналіз рослини	47
3.3 Біометричні показники рослини	52
3.4 Дані дистанційного моніторингу з використанням вегетаційних індексів ...	55
3.5 Показники якості насіння соняшнику залежно від досліджуваних факторів	58
3.6 Аналіз жирнокислотного складу олії соняшнику за допомогою газової хроматографії.....	61
3.7 Аналіз насіння	64
3.8 Урожайність насіння соняшнику та структура формування врожаю залежно від оптимізації живлення.....	65
3.9 Дисперсійний аналіз та коефіцієнти кореляції.....	67
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ СОНЯШНИКУ	69
4.1 Економічна ефективність.....	69
ВИСНОВКИ	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	74
ДОДАТКИ	81

РЕФЕРАТ

на магістерську кваліфікаційну роботу Курман С.Я. на тему «**Оптимізація мінерального живлення соняшнику за ґрунтової неоднорідності поля**»

Магістерська кваліфікаційна робота складається із вступу, 4 розділів, висновку, списку використаної літератури та додатків.

Робота представлена на 87 сторінках друкованого тексту, який містить 10 таблиць, 23 рисунки та 5 додатків.

Мета дослідження - визначити вплив препаратів на продуктивність соняшника залежно від рівнів ґрунтової неоднорідності.

Об'єкт дослідження - процес зміни показників родючості ґрунту, формування продуктивності рослин соняшнику залежно від зони забезпечення мінеральними добривами та застосування препаратів.

Предмет дослідження – азот, фосфор, калій, рН ґрунтового розчину, мікроелементи, біометричні показники, суха речовина, структура врожаю, урожайність, показники якості, економічна ефективність застосування.

У магістерській роботі представлені результати впливу оптимізації мінерального живлення соняшнику за ґрунтової неоднорідності поля.

У першому розділі «Огляд літератури» розкривається питання просторової неоднорідності ґрунтового покриву та його вплив на системи обробітку ґрунту, на ріст та розвиток рослин; вплив мінеральних добрив на ґрунт та на навколишнє середовище, оптимізація мінерального живлення; історія культури соняшник, ситуація на міжнародному ринку, галузі використання; комплексний аналіз впливу біопрепаратів на агроценоз соняшника.

Розділ 2 «Методика досліджень» включає в себе характеристику господарства, ґрунтові та погодно-кліматичні умови господарства, технологія соняшнику, методика проведення досліджень.

У розділі 3 «Результати досліджень» наведено комплексний аналіз агрохімічного стану чорнозему вилугованого, динаміки елементів живлення

впродовж вегетації соняшника та впливу біопрепаратів на формування живлення і біометричних показників рослин. Встановлено, що рівень мінерального забезпечення визначає характер змін рН, вмісту N, P і K у ґрунті, а біостимулятори істотно підсилюють поглинання макро- і мікроелементів за різних фонів удобрення. Зона середнього забезпечення відмічено найбільш оптимальний фосфатний і кислотно-основний режим ґрунту, тоді як низький фон у поєднанні з біопрепаратами стимулював акумуляцію азоту та калію в рослинній масі. Отримані результати підтверджують ефективність інтегрованих систем живлення у підвищенні продуктивності соняшника та оптимізації режиму елементів живлення в агроценозі.

У 4 розділі «Економічна ефективність технології вирощування соняшнику» проаналізовано економічну ефективність оптимізації мінерального живлення за просторової неоднорідності ґрунтового покриву.

Ключові слова: соняшник, препарати, продуктивність соняшника, ґрунтова неоднорідність поля, оптимізація мінерального живлення.

ВСТУП

Актуальність дослідження оптимізації мінерального живлення соняшнику в умовах ґрунтової неоднорідності поля зумовлена сучасними викликами аграрного виробництва, які поєднують необхідність підвищення врожайності та якості продукції з одночасним раціональним використанням матеріально-технічних ресурсів. Соняшник (*Helianthus annuus* L.) є однією з провідних олійних культур світу й має стратегічне значення для аграрного сектору України. Площі під цією культурою впродовж останніх років стабільно перевищують 5 млн га, що обумовлено високим попитом на соняшникову олію та шрот, а також конкурентоспроможністю цієї культури в різних ґрунтово-кліматичних умовах. На світовому ринку соняшник займає третє місце серед олійних культур (приблизно 9 % від світового валового виробництва), четверте - за обсягами виробництва рослинної олії (9,2 %) і третє - за виробництвом шроту (5,6 %), що підкреслює його економічну значущість та перспективність подальшого розвитку технологій вирощування.

Одним із ключових факторів формування високої продуктивності соняшника є збалансована та науково обґрунтована система мінерального живлення. Культура характеризується високою винесенням елементів живлення: на формування 1 т насіння соняшник споживає в середньому 50–60 кг N, 20–25 кг P₂O₅ і 100–120 кг K₂O, що потребує забезпечення доступності елементів живлення протягом усього періоду вегетації. Традиційні підходи до удобрення часто ґрунтуються на середньостатистичних показниках родючості, однак сучасні дослідження переконливо демонструють, що нерівномірність фізико-хімічних властивостей ґрунту на одному полі може сягати 30–50 %, істотно впливаючи на ефективність внесених добрив і формування врожайності. Саме тому особливого значення набуває диференційоване управління живленням на основі просторової неоднорідності ґрунтового покриву.

У сучасних умовах інтенсивного землеробства важливу роль відіграють технології точного землеробства, які забезпечують можливість адаптації агротехнічних заходів до локальних умов поля. Використання картограм зон неоднорідності, змінних норм висіву, локалізованого внесення добрив і інтегрованих систем живлення дозволяє підвищити ефективність використання мінеральних ресурсів, зменшити їх втрати та забезпечити стабільний розвиток рослин навіть за контрастних властивостей ґрунту. За таких умов усе більшої уваги набувають біопрепарати - мікробні інокулянти й біостимулятори, здатні покращувати доступність елементів живлення, активізувати кореневу систему та підвищувати стійкість рослин до стресових чинників. Їх застосування у диференційованій формі, відповідно до зон родючості поля, може частково компенсувати обмеження мінерального живлення в ділянках із нижчим рівнем забезпечення та сприяти більш рівномірному розвитку посівів.

Оптимізація мінерального живлення соняшнику за умов ґрунтової неоднорідності є важливою як з наукової, так і з практичної точки зору. Поєднання біопрепаратів із технологіями точного землеробства формує основу інтегрованого управління живленням, що забезпечує зростання продуктивності агроценозу, підвищення економічної ефективності виробництва та зменшення антропогенного навантаження на ґрунтові ресурси. Саме тому дослідження, спрямовані на вивчення взаємодії мінерального живлення, біостимуляторів та просторової варіабельності ґрунтів, є актуальними та необхідними для подальшого розвитку адаптивних технологій вирощування соняшника.

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ВИВЧЕННЯ ПИТАННЯ ОПТИМІЗАЦІЇ МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ СОНЯШНИКУ ЗА ГРУНОВОЇ НЕОДНОРІДНОСТІ ПОЛЯ (огляд літератури)

1.1 Просторова неоднорідність ґрунтового покриву та її вплив на системи обробітку ґрунту, на ріст та розвиток рослин

Ґрунт є природним середовищем із високим ступенем просторової та часової варіабельності. Навіть у межах одного поля фізичні та хімічні властивості ґрунту можуть суттєво різнитися [1]. Просторова неоднорідність проявляється у варіації таких показників, як щільність складення ґрунту, гранулометричний склад, вологість, вміст органічної речовини, вміст рухомих форм азоту, фосфору, калію, а також кислотність (рН). У дослідженнях Медведєва В.В (2015) зазначається важливу роль просторової неоднорідності ґрунту, за фізичними та хімічними властивостями, які суттєво відрізняються навіть у межах одного поля. Це свідчить про те, що стандартні практики внесення добрив і зрошення з рівномірним розподілом можуть бути неефективними або економічно необґрунтованими [2]. Автор аналізує різні системи обробітку ґрунту, сівозмін та удобрення, демонструючи, що системи, які враховують неоднорідність, зокрема зональне удобрення та диференційовані технологічні прийоми, які забезпечують вищу продуктивність і ефективніше використання ресурсів. Також підкреслюється необхідність застосування статистичних і геопросторових методів для точного визначення зон із різними властивостями ґрунту, що дозволяє адаптувати агротехнічні заходи до особливостей конкретної ділянки [2].

У контексті оптимізації мінерального живлення соняшнику рекомендується проводити ґрунтовий аналіз у кількох зонах поля, оцінювати неоднорідність за параметрами, важливими для живлення, і на основі отриманих даних розробляти диференційовані схеми внесення добрив. Такий

підхід сприяє зниженню витрати, підвищенню ефективності та якості врожаю, а також зменшенню екологічного навантаження [2].

Вплив неоднорідності на ріст і розвиток рослин варіює залежно від виду культури, зокрема через відмінності у кореневій системі, потребах у волозі та поживних речовинах. Крім того, значний вплив має технологія обробітку ґрунту, яка модифікує просторові властивості ґрунту і відповідно його вплив на рослини [3]. Ґрунтова неоднорідність є ключовою характеристикою ґрунтів, яку можна визначити як різноманітність ґрунтових властивостей у межах певної території, що проявляється у фізико-хімічних відмінностях. Неоднорідність ґрунтового покриву зумовлюється численними природними і антропогенними факторами. До природних чинників відносяться схиловий рельєф, підвищений рівень атмосферних опадів, а також літологічні умови, зокрема близьке залягання карбонатних порід. Серед антропогенних факторів можна виділити тривале сільськогосподарське використання земель, розорювання схилів, інтенсивне внесення добрив і механічні навантаження. Сукупність цих факторів посилює водну ерозію, що, у свою чергу, спричиняє деструкцію та фрагментацію ґрунтового покриву [4].

Кількісне врахування ґрунтової неоднорідності за допомогою статистичних, геостатистичних і стохастичних моделей забезпечує більш точні та надійні результати у геотехнічних та агрономічних розрахунках. Ігнорування цього фактору може призвести до переоцінки рівня безпеки, помилкових прогнозів та виникнення інженерних ризиків [5].

Крім фізико-хімічних відмінностей важливим чинником є врахування просторової неоднорідності мікробіома. У 2025 році дослідницька група (Li та ін., 2025) опублікувала в журналі *Microorganisms* результати досліджень, присвячені впливу просторової варіабельності мікробних спільнот у ґрунті, на їхню ефективність, як індикаторів агропродуктивності. Експеримент проводився в умовах південного Китайського плоскогір'я на посівах кукурудзи та сої. У межах дослідження було здійснено порівняння мікробіологічних характеристик ґрунту, відібраного з кореневої зони (intra-row) та зони міжрядь

(inter-row). Встановлено, що ці два просторові компоненти агроєкосистеми суттєво різняться за фізико-хімічними властивостями та мікробним складом. Зокрема, ґрунт кореневої зони характеризувався вищою вологістю, вмістом загального азоту та мікробної біомаси, тоді як ґрунт міжрядь виявився більш різноманітним за бактеріальним складом. Отримані результати підтверджують гіпотезу про те, що коренева активність рослин істотно модифікує мікроекологію ґрунтового середовища, сприяючи розвитку специфічних груп мікроорганізмів [6].

Крім того, встановлено, що бактеріальні спільноти з кореневої зони (intra-row) демонстрували тісніший зв'язок з продуктивністю кукурудзи, зокрема з її надземною біомасою. Натомість мікробіота міжрядь (inter-row) виявила вищу чутливість до змін агротехнічних прийомів, таких як внесення мінеральних добрив або застосування змішаних посівів. Це дозволяє зробити висновок, що ґрунтові зразки з різних функціональних зон поля можуть містити різну інформацію: зони кореня (intra-row) це про фізіологічну реакцію культури, а міжряддя (inter-row) це про ефективність управлінських впливів [6].

Особливо важливим є те, що автори дослідження наголошують, на необхідності врахування просторової неоднорідності при використанні мікробіоти як біоіндикатора [6]. Інакше кажучи, однобічний підхід до відбору проб, наприклад, лише з міжрядь або лише з кореневої зони, що може призвести до хибної оцінки стану ґрунту або ефективності застосованих агротехнічних заходів

Результати цього дослідження мають важливе практичне значення у контексті оптимізації мінерального живлення сільськогосподарських культур, зокрема соняшнику, на полях із неоднорідними ґрунтовими характеристиками. Врахування просторової структури ґрунту та особливостей мікробного середовища може суттєво підвищити точність агротехнологічних рішень і сприяти впровадженню елементів точного землеробства.

1.2 Вплив мінеральних добрив на ґрунт, оптимізація мінерального живлення

Результати сучасних досліджень свідчать, що поєднання органічної речовини з оптимальними дозами мінеральних добрив сприяє відновленню гумусового шару, зокрема підвищенню вмісту стабільних гумінових кислот. Однією з ключових проблем залишається доступність поживних елементів, таких як фосфор і азот. У цьому контексті мікроорганізми відіграють критичну роль у трансформації органічних сполук у доступні для рослин форми, зокрема шляхом розщеплення нерозчинних сполук і перетворення їх на розчинні [7].

Ґрунти виконують не лише функцію середовища для вирощування культур, а й слугують важливим резервуаром органічного вуглецю, здатним його акумулювати або, навпаки, вивільняти залежно від практик землекористування. У статті «Field-scale heterogeneity overrides management impacts following conversion to no-till within an arable system» підкреслюється, що інтенсивне землеробство з активним обробітком ґрунту, надмірним використанням мінеральних добрив і вирощуванням монокультури призводить до втрати органічного вуглецю, підвищеного викиду парникових газів (CO_2 , N_2O , CH_4), а також деградації ґрунтової структури [8].

Разом із тим існують агротехнічні практики, які дозволяють не лише зменшити негативний вплив сільського господарства на довкілля, а й трансформувати його одним із ключових секторів - скорочення глобальних викидів. До таких практик належать: зменшення або повна відмова від оранки (системи no-till або мінімального обробітку), застосування органічних добрив і сидератів, вирощування покривних культур, удосконалення сівозмін із включенням бобових культур, а також агролісівництво. Реалізація зазначених підходів сприяє накопиченню органічної речовини, покращенню структурно-агрегатного складу ґрунту, зменшенню ерозійних процесів та одночасному скороченню емісії парникових газів. Результати досліджень свідчать, що максимальний позитивний ефект досягається за умов поєднання кількох агротехнічних підходів. Зокрема, використання системи no-till у комбінації з

покривними культурами та внесенням органічних добрив забезпечує синергетичний ефект, який сприяє стабільному накопиченню органічного вуглецю та підвищенню стійкості агроecosystem. Водночас автори наголошують, що ефективність таких практик значною мірою залежать від кліматичних умов, типу ґрунтів та специфіки регіону. Таким чином, універсальних рішень не існує, для забезпечення довготривалої результативності необхідне систематичне моніторингове спостереження. Комплексне управління ґрунтовими ресурсами може відігравати ключову роль у глобальних стратегіях боротьби зі змінами клімату, водночас зберігаючи продуктивність агроландшафтів і сприяючи продовольчій безпеці. Дослідження також акцентує увагу на важливості врахування просторової варіабельності при розробці стійких агротехнологічних рішень [8].

Однорідність ґрунтового покриву має важливе значення, оскільки безпосередньо впливає на його структурно-агрегатний склад, пухкість, водоутримувальну здатність та повітропроникність. Зменшення просторової неоднорідності дозволяє ефективніше боротися з такими негативними явищами, як ущільнення та ерозія ґрунтів [9]. Встановлено існування кореляційного зв'язку між врожайністю сільськогосподарських культур і рівнем забезпечення поживними речовинами що безпосередньо пов'язане з неоднорідністю ґрунтового покриву в межах поля [10].

Слід зазначити, що в сучасному аграрному виробництві суттєвою проблемою є надмірне використання мінеральних добрив. Їхнє надлишкове внесення призводить до вимивання сполук, насамперед нітратів і фосфатів, що зумовлює забруднення ґрунтів, ґрунтових вод та водних екосистем. Це у свою чергу має негативний вплив на кліматичну систем. За даними Європейського Союзу, 94 % викидів аміаку спричинені зберіганням і внесенням гною, а понад 2 % загального обсягу парникових газів формуються внаслідок застосування мінеральних добрив. У відповідь на ці виклики в країнах ЄС впроваджуються спеціальні плани управління використанням добрив. Такі програми спрямовані

на оптимізацію дозування, просторове розміщення та методику внесення агрохімікатів [11].

Тривале використання мінеральних добрив має потенційно негативний вплив як на ґрунтове середовище, так і на фізіологічний стан рослин. Це зумовлює деградацію фізико-хімічних властивостей ґрунту, порушення його структурної цілісності, зростання частоти грибкових захворювань і загальне погіршення фітосанітарного стану посівів [9]. Натомість застосування біологічних препаратів, сприяє зменшенню ураженості рослин грибковими захворюваннями завдяки сприятливим змінам у складі ґрунтового мікробіому. Такі препарати також знижують інтенсивність процесів мінералізації в ґрунті, стабілізуючи біологічну рівновагу [7].

Одним із ключових факторів підвищення продуктивності агроecosystem є активізація мікробно-рослинних взаємодій. Зокрема, Кожевников А.П. у своїй праці «Продуктивність азотфіксації в агроценозах» підкреслює важливість своєчасного та науково обґрунтованого використання біологічних препаратів як чинника оптимізації азотфіксації та загального стану ґрунтово-рослинної системи [12]. Біологічні засоби захисту рослин доводять свою економічну ефективність, сприяють позитивним змінам в ґрунтово-біологічних процесах, оптимізують кореневе живлення та сприяють відновленню кислотно-лужного балансу й мікрофлори ґрунту. У сукупності ці ефекти спрямовані на активізацію природного потенціалу ґрунтово-рослинного комплексу [13].

Наразі повна відмова від мінеральних добрив є малоімовірною, однак сучасні підходи до біологічного землеробства передбачають поєднання біологічних і агрохімічних засобів. Інтенсивні системи землеробства дедалі частіше включають використання біологічних препаратів, які, поряд з підвищенням продуктивності культур, сприяють покращенню стану посівів і довготривалому підвищенню родючості ґрунту [12].

Біологізація сільськогосподарського виробництва. У зв'язку з поширенням науково-технічних розробок, актуальною метою аграрної політики є біологізація сільськогосподарського виробництва. Україна, разом із

індустріально розвинутими країнами, прагне знизити негативний вплив мінеральних добрив на агрофітоценози, а також зменшити собівартість сільськогосподарської продукції [12].

Ринок мікробіологічних добрив постійно зростає і, за прогнозами, продовжить розширюватися у найближчі роки. Зокрема, мікоризні інокулянти є найбільш поширеними біодобривами у світі. На другому місці за популярністю перебувають бактерії роду *Rhizobium*, які відомі своєю здатністю до азотфіксації. Частка ринку біодобрив у світі, що припадає на мікоризу, становить 36,3%, тоді як на *Rhizobium* – 24,8%. [12]

Результати численних досліджень свідчать, що мікробні інокулянти, гумінові кислоти, фульво кислоти, білкові гідролізати й амінокислоти, а також екстракти морських водоростей сприяють стимуляції росту кореневої системи, покращенню засвоєння поживних речовин, підвищенню стійкості сільськогосподарських культур до абіотичних стресів (посуха, засолення ґрунту), а також покращенню якості врожаю. Зокрема, мікробні інокулянти стимулюють симбіотичні взаємодії та покращують ефективність азотного живлення; гумінові та фульво кислоти впливають на фізіологію та метаболізм рослин, посилюючи їхню стійкість до стресових факторів; білкові гідролізати активують захисні механізми проти біотичних і абіотичних чинників; екстракти морських водоростей покращують врожайність і якість плодів.

Таким чином, біостимулятори виконують роль природних регуляторів росту, активують фізіологічні процеси рослин та забезпечують підвищення продуктивності агросистем при одночасній екологічній безпеці [14].

З часом змінився і напрямок досліджень у галузі мікробіології ґрунту: якщо раніше основну увагу приділяли азотфіксуючим бактеріям, які безпосередньо стимулюють ріст і врожайність рослини, то нині акцент робиться на комплексному вивченні ризосфери рослин. Механізм дії мікробіологічних добрив полягає у збільшенні кількості мікроорганізмів, які забезпечують рослину необхідними поживними речовинами. При цьому

життєдіяльність мікроорганізмів сприяє покращенню мікробної фауни ґрунту завдяки секреції ферментів, органічних кислот і протимікробних сполук.

Особливе значення у взаємодії з мікроорганізмами ризосфери мають рослинні гормони, які відіграють важливу роль у рості та розвитку рослин. Ендогенно синтезовані рослинами гормони, зокрема ауксини, гібереліни, цитокініни, етилен та абсцизова кислота, є основними регуляторами фізіологічних процесів.

Використання мікробних добрив активізує мікроорганізми, що вже присутні в ґрунті, які сприяють розкладу органічних та неорганічних сполук фосфору, внаслідок чого цей елемент стає доступним для рослин. Значний вплив мікроорганізми мають на кислотність ґрунтового розчину ґрунту, вирівнюючи його рівень і виводячи залишки речовин, що сприяють погіршенню кислотного фону ґрунтового середовища.

Отже, мікробні добрива забезпечують рослину необхідними кількостями основних макроелементів – азоту, фосфору, калію – завдяки дії азотфіксуючих, фосфор- та калій мобілізуючих мікроорганізмів. Крім того, корисні мікроорганізми конкурують з патогенними ґрунтовими мікроорганізмами за простір та поживні речовини, що сприяє витісненню шкідливих форм і покращенню властивостей ґрунту. Це дозволяє вирішувати такі проблеми, як ущільнення ґрунту, засолення та дефіцит органічної речовини [9]. Особливу увагу у складі біологічних препаратів, слід приділяти складовій, яка запобігає поширенню хвороб і суттєво покращує фітосанітарний стан посівів. [12].

Раніше вважалося, що основними чинниками оптимізації поживного режиму рослин є мінеральні добрива та вплив стресових факторів. Однак застосування біологічних препаратів, які зменшують стресові впливи на початкових етапах вегетації, після внесення гербіцидів або в умовах несприятливих погодних факторів, суттєво покращує стан рослин і підвищує ефективність агротехнологій [15].

Сучасна задача агровиробників полягає у відновленні ґрунтових мікроорганізмів, які історично формували родючий шар ґрунту, але через

інтенсивне використання хімічних препаратів та ігнорування природних процесів призвели до деградації ґрунтів та загострення екологічних проблем. Наразі спостерігається повернення до інтенсифікації сільськогосподарського виробництва, проте система «ґрунт-мікроорганізми-рослина» суттєво порушена.

В Україні розроблено низку мікробних препаратів на основі активних штамів азотфіксуючих, фосфатмобілізуючих та рістстимулюючих мікроорганізмів. До них належать такі препарати як «Альбобактерин», «Біогран», «Діазобактерин», «Мікрогумін», «Поліміксобактерин», «Ризогумін», «Хетомік», «Азогран» та інші. Застосування біопрепаратів позитивно впливає на розвиток кореневої системи рослин, а також сприяє затримці розвитку епіфітотій патогенних бактерій на 2-3 тижні, що фактично блокує інфікування рослин [16].

Впровадження біопрепаратів дозволяє зменшити норми внесення азотних добрив, адже необхідно враховувати біогеохімічні процеси кругообігу азоту, зокрема азотфіксацію та біологічну денітрифікацію. Активно розробляються біофунгіциди на основі живих культур мікроорганізмів, які мають суттєві переваги над хімічними засобами захисту рослин, зокрема відсутність фітотоксичності, мутагенності та канцерогенності [16].

Практичні дослідження підтверджують, що оптимізація поживного режиму рослин забезпечується не лише мінеральними добривами, але й препаратами на основі комплексів мікроелементів, які стимулюють активність мікроорганізмів і сприяють повноцінній життєдіяльності рослин [15].

Варто враховувати, що підвищення норм внесення основних добрив не може компенсувати дефіцит мікро- та макроелементів. Позакореневе підживлення рослин допомагає коригувати цей дисбаланс поживних речовин. При правильному врахуванні біологічних особливостей гібридів, ґрунтово-кліматичних умов, температурного режиму, мінерального живлення та додатковому внесенні біопрепаратів можливо покращити не лише врожайність, а й якість насіння, зокрема вміст жиру. Звичайно, великий вплив на ці

показники мають сприятливі погодні умови, які мінімізують вплив стресових факторів на рослини.

Фоліарне внесення біопрепаратів. Багато досліджень доводять, що найкращі результати економічної ефективності використання біопрепаратів були помічені саме при позакореновому підживленні культури у різних фазах розвитку [17]. Ще з 19-го століття було доведено, що поживні речовини можуть засвоюватися через листя. Позакореневе підживлення соняшнику мікро- та макроелементами стимулює фізіологічні процеси та покращує якість насіння. [18].

Основним завданням фоліарного підживлення біопрепаратами є стимуляція продуктивності та росту рослини, закладеного її генотипом. Біопрепарати також підтримують рослини за несприятливих погодних умов. Дослідження свідчать, що біопрепарати показують кращі результати за спекотних погодних умов порівняно зі сприятливими. Фоліарне внесення біопрепаратів активує фізіологічні та біохімічні процеси, стимулює ріст і розвиток, зменшує пестицидний вплив і оптимізує живлення рослини [7].

1.3 Роль соняшнику як культури світового рівня.

Соняшник походить із Північної Америки, де його вирощували індіанські племена. У Європу насіння завезли іспанці на початок XVI ст. Спочатку використовували переважно як декоративну й лікувальну рослину. З XVIII ст. почали вирощувати для олії, особливо в росії. У XIX ст. розпочали програми з відбору сортів: для олії та харчових насінин. XX ст. - селекція підвищила вміст олії, стійкість до хвороб, створено гібриди. Сучасні напрями селекції спрямовані на стійкість до гербіцидів, посухостійкість і адаптацію до кліматичних змін. Для уникнення стресу від посухи Використовуються методи ранніх строків сівби та зрошення. У харчовій промисловості використовували олію (звичайна, середньо-олеїнова, високоолеїнова), насіння для снєків і випічки. Соняшникова олія містить високий відсоток ненасичених жирних

кислот: лінолеву – до 62%, олеїнову – до 30%, насичені жирні кислоти – близько 10%.

Олія також багато на токофероли (вітамін E), фенольні сполуки, каротиноїди, які діють як антиоксиданти, захищаючи клітини організму від вільних радикалів. З олії соняшнику почали виробництво біодизеля. У кормовиробництві використовували макуху та жмих як джерело білків для кормів. Відходи соняшнику застосовували у фармацевтиці, як волокна або ізоляційний матеріал.

Соняшник займає четверту місце за значенням серед олійних культур у світі після пальмової, соєвої та ріпакової. Україна є одним із ключових глобальних лідерів у виробництві соняшнику. Спільно з іншою великою країною-виробником, на ці дві держави припадає понад 50% світового обсягу виробництва. Попит на соняшкову олію зростає через відмову від пальмової олії та розвиток біопалива. Перспективи виробництва залежать від кліматичних змін та політичної ситуації.

Соняшник це перспективна культура з широким спектром застосувань. Сучасні виклики включають посухи, хвороби, ринок олій та геополітичні кризи. Майбутнє культури пов'язане з селекцією посухо- та холодостійких сортів, новими олійними властивостями та вдосконаленнями агротехніки [19].

Корисні властивості соняшнику для здоров'я включають зниження ризику серцево-судинних захворювань завдяки ненасиченим жирним кислотам, антиоксидантний і протизапальний ефекти, а також можливе використання у функціональних продуктах харчування та медицині.

Соняшник добре пристосований до посушливих умов, має потужну кореневу систему, що дозволяє використовувати вологу з глибоких шарів ґрунту. Культуру вирощують у понад 70 країнах світу. Провідними глобальними виробниками цієї продукції є Україна, Аргентина та країни Європейського Союзу, які формують значну частину світового ринку. Соняшник широко використовується в системах сівозміни, а його побічна продукція (макуха, лушпиння) цінна для тваринництва і промисловості.

Інші напрями використання соняшнику включають виробництво біопалива (соняшникова олія і відходи переробки), косметики (олія як основа для кремів, мил, лосьйонів), фармацевтики (екстракти з антиоксидантами й протизапальними властивостями). Соняшник є стратегічною культурою з великим харчовим, медичним та економічним значенням. Подальші дослідження спрямовані на підвищення врожайності, стійкості до хвороб і створення нових гібридів із покращеним складом олії, наприклад, високоолеїнових [21].

Рентабельність виробництва соняшнику зростає відповідно площі під цією культурою також збільшуються. За даними Agravery.com, площі під соняшником у 1990 році становили 1626,3 тис.га, а у 2018 році - 6166,5 тис. га. [22, 23].

За даними Міністерства аграрної політики та продовольства України у 1990 р. культуру вирощували на площі близько 1,6 млн га, до 1995 р. посівні площі під соняшником зросли до 2 млн.га, з 2011 р. перевищили 3 млн га, а з 2013 р. площа посівів не опускалася нижче 4,5 млн га. У 2015 р. вона продовжувала зростати і соняшником було засіяно понад 5 млн га, а у 2016 р. – 5,3 млн га. Станом на 6 червня 2025 року соняшником було засіяно 4, 9 млн га. [1, 22] Соняшник часто називають «королем степу» через значні площі його посівів. Відношення до вирощування соняшнику з часом змінилось в кращу сторону: спочатку вважали, що соняшник сильно виснажує ґрунт, але зараз фермери не бояться цієї культури і дотримуються сівозміни [23].

Вплив екологічних чинників на фізіологічні потреби соняшнику. Для кожної культури у різні періоди вегетації існує своє співвідношення потреб у волозі та сонячній енергії. Соняшник це досить вибаглива культура: на початку розвитку рослин до утворення кошиків він витрачає вологи 20–30% від загальної потреби, засвоюючи її, переважно, з шару ґрунту 0–60 см. Найбільше вологи (до 50%) засвоюється у фазу цвітіння коли за нестачі вологи в цей період кошики і насіння можуть бути недорозвиненими. Від цвітіння до дозрівання насіння соняшник споживає ще 30–40 % вологи. Хоча соняшник

відомий як посухостійка культура, він поглинає значну кількість вологи з ґрунту, завдяки потужній кореневій системі, яка може проростати на глибину 150-300 см і більше. В середньому на формування 1 ц насіння разом з відповідною надземною біомасою витрачається 140–180 т води.

Вода має надзвичайно важливу роль у життєдіяльності рослин. Вона є джерелом водню для утворення глюкози під час фотосинтезу і постачає електрони для фотосинтетичних реакцій. Без достатньої кількості води фотосинтез уповільнюється або зупиняється. Вода є основним розчинником у рослині: транспортує мінеральні речовини з ґрунту через корені до листя; переносить продукти фотосинтезу (цукри) до різних частин рослини. Вода забезпечує тургорний тиск у клітинах, що підтримує форму і пружність рослини; без неї рослина в'яне. Під час транспірації вода охолоджує рослину, захищаючи її від перегріву в спекотні дні. Багато ферментативних реакцій відбуваються лише у водному середовищі. Вода необхідна для проростання насіння, клітинного поділу та росту, вона входить до складу цитоплазми, вакуолей і інших клітинних структур. Без води неможливе повноцінне формування та функціонування клітин.

Дослідження показали, що використання позакореневого підживлення біопрепаратами підвищує ефективність водоспоживання [22]. Такий фактор як фотоперіодизм має визначальну роль в продуктивності соняшника. Комплекс біологічних добрив та мікоризо-утворюючих препаратів позитивно впливають на біометричні параметри рослини та на саму врожайність [13].

Потребу в мінеральних добривах соняшнику можна визначити за результатами агрохімічного аналізу ґрунту. Особливістю дії біопрепаратів є те, що вони проявляють найбільшу ефективність саме за умов дефіциту вологи в ґрунті. [24] У дослідженнях Домарацького Є.О., зазначається, що мінімізувати вплив стресових факторів за допомогою біологічних препаратів найкраще тоді, коли обробку здійснюють у період дії найсильнішого стресового чинника [15] Хоча вміст олії в насіння соняшнику зазвичай не змінюється під впливом біологічних препаратів, дослідження, проведені в Південних регіонах України,

показали, що врожайність все ж зростає, особливо на фонах із достатнім забезпеченням мінеральними добривами [24].

До основних мікроелементів, які мають важливе значення для розвитку рослини, належать цинк (Zn), залізо (Fe), марганець (Mn), кобальт (Co), мідь (Cu), бор (B) та молібден (Mo). У правильних концентраціях мікроелементи підвищують стійкість рослин до зовнішніх несприятливих чинників і хвороб. Водночас важливу роль у доступності мікроелементів відіграють кліматичні умови та властивості ґрунту, зокрема його структура та однорідність [25].

Впродовж багатьох років мінеральні добрива вважалися ключовим фактором досягнення високої врожайності. Азот є одним із найважливіших елементів живлення, необхідним для росту і розвитку соняшника. Він входить до складу амінокислот, білків, нуклеїнових кислот і ферментів, стимулює вегетативний ріст і фотосинтетичну активність, забезпечуючи формування насіння. Однак надлишок азоту викликає дисбаланс між вегетативним і репродуктивним розвитком, затримуючи дозрівання. За зростання цін на добрива виникає потреба в раціональному їх використанні. Дослідження підтверджують, що надмірне внесення азоту може знизити агрономічну ефективність. Найбільше накопичення азоту в рослині відбувається перед фазою цвітіння, коли активується мобілізація азоту з вегетативних органів до генеративних. [26]

Бор є критично важливим елементом для соняшнику. Його потреба змінюється залежно від стадії розвитку рослини; критична концентрація в рослині досягається приблизно через чотири тижні після проростання. Достатнє забезпечення бором сприяє засвоєнню азоту, підвищує фотосинтетичну активність і дихання, активує білковий і нуклеїновий метаболізм [18, 27]. Застосування мікроелементів, зокрема бору, є одним із чинників, що позитивно впливають на врожайність насіння соняшнику.

Результати досліджень показали, що внесення бору як у ґрунт, так і шляхом позакореневого обприскування істотно покращує ріст соняшнику: підвищує висоту рослин, кількість листків, площу листової поверхні та

накопичення сухої маси. Крім того, бор сприяв збільшенню діаметра кошика, кількості та маси насіння. Вміст олії в насінні зростав у середньому на 2–10 % залежно від способу внесення. Врожайність зростала на 15–35 %, досягаючи 2,3–2,4 т/га, а також поліпшувалися показники якості: вміст сирого протеїну, ненасичених жирних кислот (лінолевої, олеїнової), і зростала концентрація кальцію, азоту, фосфору, калію та сірки в рослинах. Також обробка бором знижувала кількість щуплого або порожнього насіння завдяки покращеному запиленню та розвитку пилкових трубок.

Економічні розрахунки засвідчили, що застосування бору забезпечує значно вищий валовий дохід, чистий прибуток та коефіцієнт рентабельності порівняно з контролем, де бор не вносився. Найкращі результати отримували при дозі 1–2 кг/га бору або при позакореновому обприскуванні борною кислотою в концентрації 0,2–1 %. Отже, бор є критично важливим мікроелементом для соняшнику, оскільки підвищує урожайність, якість насіння та економічну ефективність вирощування культури [28].

Щодо калію, то цей елемент також має вирішальне значення, він підвищує стійкість рослини до шкідників і хвороб, а також забезпечує толерантність до холоду та морозів. При дефіциті калію знижується врожайність, зменшується вміст олії, а також погіршується співвідношення ненасичених до насичених жирних кислот. Бор і калій діють як буферні елементи, які підтримують функціонування провідної системи рослин і регулюють активність інших поживних речовин. Вони взаємопов'язані між собою: оптимальний рівень бору покращує проникнення калію через клітинну мембрану [16].

Після азоту, фосфору та калію четверте місце за значенням у живленні соняшнику займає сірка. Цей елемент бере участь у синтезі хлорофілу, забезпечує роботу окисно-відновних ферментів, впливає на метаболізм азоту та калію, а також сприяє фотосинтезу і загальному вегетативному розвитку. Сірка необхідна для перетворення вуглеводів в олію та для синтезу ферментів, що містять жирні кислоти, зокрема тіокіназ [18].

Мідь також відіграє важливу роль у метаболізмі рослини. Вона бере участь у фотосинтезі та диханні, а також є кофактором для багатьох ключових ферментів, які забезпечують синтез енергії у формі АТФ. Залізо необхідне для функціонування окисно-відновних систем, розвитку хлоропластів та біосинтезу, який забезпечує фотосинтетичну активність. Його нестача впливає на стабільність ліпідів і полімеризацію ліпідних молекул, що безпосередньо впливає на життєздатність та збереження насіння [18].

Марганець відіграє важливу роль у рості та розвитку рослин, особливо у формуванні хлоропластів. Калій бере участь у підвищенні стійкості до стресових факторів, таких як посуха або зниження температур, регулює транспортування води та інших речовин, впливає на процеси цвітіння, пружність клітинних тканин, синтез вуглеводів і засвоєння нітратів. Магній забезпечує накопичення цукрів у рослинах, сприяє поглинанню та переміщенню фосфору, а також є ключовим мінеральним елементом у складі хлорофілу. Кальцій активізує утворення кореневої системи, поліпшує транспортування інших мінеральних поживних речовин і бере участь у зростанні та розвитку клітин рослини. Фосфор необхідний для запліднення, фізіологічного росту, розвитку та плодоношення, а також відіграє важливу роль в енергетичному метаболізмі рослин [18].

Існують дослідження, які показують, що у бідних на поживні речовини ґрунтах корені рослин можуть збільшувати свою масу або об'єм, особливо при сусідстві з іншими рослинами. Натомість у поживно насиченому ґрунті з доброю структурою, де також росте інша рослина, структура коренів залишається стабільною. Це свідчить про адаптивну реакцію кореневої системи на рівень доступних поживних речовин. Корені активно реагують на розподіл поживних речовин у ґрунті, і в умовах локального накопичення ресурсів рослина здатна розвивати агресивнішу кореневу систему, ніж у випадках рівномірного розподілу поживних речовин по всій ділянці. Коренева система потребує стимулу для росту, оскільки при надлишку ресурсів рослина може втрачати мотивацію до конкуренції за простір і поживні речовини [29].

1.4 Вплив біопрепаратів на розвиток і стан агроценозу соняшника.

Застосування біопрепаратів, зокрема лінійки БТУ, у позакореновому підживленні позитивно впливає на оптимізацію системи удобрення. Це сприяє загальному підвищенню вмісту олії у насінні соняшнику, зменшує чутливість рослини до дефіциту мікро- та макроелементів, підвищує імунну реакцію на різні збудники хвороб, покращує стійкість до стресових факторів, забезпечує гормональну підтримку та сприяє загальному розвитку рослини і поліпшенню якісного складу продукції.

На сучасному етапі існує велика кількість технологічних прийомів, що включають застосування різних ґрунтообробних систем і систем удобрення. Вирощування соняшнику без використання мінеральних добрив наразі неможливе, оскільки біопрепарати застосовуються здебільшого як додаткові засоби для стимулювання генетичного потенціалу рослин. Тому рекомендовано працювати комплексно, поєднуючи агрохімікати, стимулятори та регулятори росту, а також дотримуватися оптимальних строків внесення добрив відповідно до технологічних регламентів, враховуючи особливості ґрунтово-кліматичних зон і гібридів.

Сучасні дослідження демонструють, що найкращі результати досягаються при дворазовому внесенні біопрепаратів на фоні мінімального фону мінеральних добрив. При цьому робота біопрепаратів має безпосередній вплив на підвищення вмісту олії в насінні, а не лише на збільшення загальної біомаси рослин [30].

Вивчення ендofітних бактерій соняшнику, які мешкають у тканинах коренів та стебел, свідчить про їх потенціал для покращення росту рослин. Ці мікроорганізми розглядаються як екологічна альтернатива хімічним добривам і пестицидам, що сприяє підвищенню врожайності без негативного впливу на навколишнє середовище. Аналіз ізолятів із полів Південної Африки показав, що домінують представники роду *Bacillus*, а також *Pseudomonas* та *Stenotrophomonas*. Ці бактерії продукують фітогормон індол-3-оцтову кислоту, розчиняють фосфати, виробляють сидерофори, що покращують засвоєння

заліза, а також виділяють антимікробні речовини, які пригнічують патогени. Інокуляція насіння бактеріями забезпечує збільшення довжини коренів і пагонів, а також біомаси рослин [31].

Згідно з даними представленими в журналі «Агрономіка Байєр», ключовими фазами розвитку соняшнику, що впливають на формування врожайності, є стадії V2-R1 (BBCH 12-49), R1-R4 (BBCH 50-59) і R6-R8 (BBCH 71-90). На першій фазі визначається кількість зачатків квіток, що залежить від інтенсивності сонячного освітлення і контролю бур'янів. У фазі R1-R4 рослина потребує достатнього азотного живлення та активного фотосинтезу для утворення фертильних квіток. У фазі формування та наливання насіння рослина використовує механізми реутилізації поживних речовин із листків. Стан ґрунту та його обробка відіграють важливу роль у профілактиці хвороб, оскільки джерелами патогенів є рослинні рештки та падалиця [32].

Дослідження на гібриді соняшнику АВРОРА АМ підтверджують, що найкращі показники росту та врожайності досягаються за умови передпосівної обробки насіння сумішшю стимулятора росту Блек Джек, мікоризоутворюючого препарату Мікофренд та бактеріального препарату ПМК-У з подальшими двома листовими підживленнями у відповідних фазах розвитку. Така технологія забезпечила збільшення повітряно-сухої маси рослин на 11–14 % та приріст біомаси до 22 % порівняно з контролем, при цьому дворазове підживлення виявилось практично не гіршим за трьохразове, що є економічно вигідним [33].

Результати досліджень, проведених у 2021–2023 роках у Миколаївській області, свідчать про ефективність біопрепаратів у підвищенні росту, розвитку та продуктивності високоолеїнових гібридів соняшнику. Позакореневе підживлення біопрепаратами позитивно впливало на висоту рослин, площу листків, кількість насінин у кошику, врожайність та вміст олії. Найвищу врожайність показали гібриди Р64НЕ133 і Columbi, при цьому підживлення “Органік-баланс” забезпечувало середню врожайність 3,58 т/га. Біопрепарати збільшували врожайність на 0,21–0,4 т/га і вміст олії на 0,9–1,8 %, а олеїнової

кислоти – на 2,1–5,3 %. Найбільший внесок у врожайність мали поєднання гібриду та підживлення, що складає 63,5 %.

Отже, позакореневе підживлення біопрепаратами значно підвищує урожайність і якість насіння соняшнику, підвищує стійкість рослин до стресових факторів. Найкращі результати забезпечують комбінації “Органік-баланс + Хелпрост-Бор” та “Азотофіт-р + Хелпрост-Бор” для гібридів Р64НЕ133 і Columbi [34].

У ряді досліджень, проведених у різних регіонах України та Європи, вивчали ефективність біопрепаратів, мікродобрив та регуляторів росту на врожайність і якість сільськогосподарських культур, зокрема соняшнику та черешні.

Дослідження гібридів соняшнику Sumico HTS, SY Kurava та Subaru HTS показали, що обробка стимулятором росту Церон (0,5 л/га) сприяла збільшенню площі листової поверхні на 5,5–10,2 %, діаметра кошика на 11,5–30,4 %, а кількості насінин на 3,4–5,6 %. Урожайність зростала на 0,16–0,75 т/га (8,2–43,3 %), а вміст олії підвищувався на 3–8 %. Застосування біостимуляторів створює оптимальні умови для росту, розвитку та формування високої врожайності й олійності насіння [35].

Дослідження 2021–2023 років в Угорщині показали, що основним фактором, що впливає на врожайність і якість сівби соняшнику, є рік вирощування (погодні умови), а не властивості ґрунту. Продуктивні зони поля мали значний вплив на врожайність, яка у високопродуктивних зонах була на 41 % вищою. Вища густина посіву підвищувала вміст олії, а кліматичні умови суттєво впливали на параметри врожайності та якості [36].

Позакореневі підживлення мікродобривами Квантум, Росток, Реаком і Наномікс у фазі 6–8 листків підвищували врожайність на 0,2–0,4 т/га, збільшували масу 1000 насінин, зменшували лушпинність і підвищували діаметр кошика. Найкращі результати отримано на гібриді НК Камен з підживленням Квантум: врожайність 2,55 т/га, вміст жиру 52,7 %, вихід олії 13,4 ц/га, рентабельність 241,8 % [37].

Використання комплексу «Квантум» і біопрепарату «Біокомплекс-БТУ-р» подовжувало вегетаційний період, збільшувало висоту рослин, розмір кошика і кількість насінин. Урожайність зросла з 1,81 до 2,54 т/га, вміст сирої олії до 51,7 %, умовний вихід олії підвищився на 0,424 т/га. Ефективність підживлення підтверджує перспективність біологізації технологій вирощування [38].

Дослідження 2018–2019 років у ХНАУ ім. В.В. Докучаєва показали, що регулятори росту Фульвітал Плюс, Екостим і Квадростим мали генотипо- і середовищезалежний ефект. Найкращі результати у лінії Сх808А: врожайність зросла на 0,4–0,7 т/га, маса 1000 насінин збільшилась на 6,7 г, натура до 403 г/л. Найефективнішими були Фульвітал Плюс і Квадростим, особливо у стресових умовах [39].

Застосування екстракту тропічних рослин як біостимулятора в фазах цвітіння-зав'язування плодів черешні сортів Кордія та Регіна підвищило врожайність на 7,4 % (Кордія) і 13,1 % (Регіна). У сорту Кордія покращилась якість плодів збільшився вміст кальцію, цукрів, твердість м'якоті та забарвлення шкірки. Для сорту Регіна головним був приріст кількості плодів. Біостимулятор діє подібно до природних гормонів і є ефективною екологічною альтернативою синтетичним регуляторам росту [40].

Результати досліджень впливу позакореневих підживлень та регуляторів росту на три сорти соняшнику (Лакомка, Конфета F1, Онікс) свідчать, що підживлення сприяє збільшенню висоти рослин на 1,2–4,4 см, площі листкової поверхні на 0,03–0,07 м², кількості насіння в кошику до +22 шт., маси насіння з кошика до +4 г і маси 1000 насінин до +5,8 г. Найвищу врожайність (2,42 т/га) і вміст білка (23 %) має сорт Лакомка, який добре реагує на підживлення, зокрема тричі застосуванням Sol Bor + Basfoliar 6-12-6, що підвищує врожайність на 0,06–0,15 т/га та вміст білка на 0,1–0,5 %. Найбільший вплив на врожайність мають генотип і добриво разом (74,7%) [41].

У дослідженнях, проведених у Південному Степу України, вивчали вплив різних норм мінеральних добрив на продуктивність високоолеїнового соняшнику без зрошення. Об'єктами були гібриди Кадет, Гектор та Оплот.

Встановлено, що внесення N90P90K60 забезпечувало найбільший діаметр кошику (19,5 см у Кадета), найбільшу масу 1000 насінин (59,8 г у Кадета), найвищий вміст сирого жиру та олеїнової кислоти. Урожайність усіх гібридів зростала зі збільшенням норми мінеральних добрив: у Кадета на 24,1 %, у Гектора на 33,3 %, в Оплота на 28 % порівняно з мінімальною дозою. Встановлено пряму залежність між рівнем живлення і продуктивністю соняшнику. Зроблено висновок, що для умов посушливого Південного Степу найдоцільніше вирощувати гібрид Кадет із застосуванням мінеральних добрив у нормі N90P90K60, оскільки це забезпечує найвищі показники врожайності та якості олії. Водночас підкреслюється важливість раціонального внесення добрив, щоб уникнути погіршення якості продукції та негативного впливу на довкілля. Встановлено, що 1 т вирощеного високоолеїнового соняшнику поглинає приблизно 8 кг азоту, 3 кг фосфору та 15 кг калію, а мінеральне добриво забезпечує макро- та мікроелементами у найбільш вразливих фазах розвитку: сходах, бутонізації та фазі наливу зерна [42].

У Північному Степу України досліджували ефективність мікродобрив і регуляторів росту соняшнику. Обробка насіння Вимпел-К та позакореневе обприскування сумішшю Вимпел + Оракул мультикомплекс + Оракул коламін бор у фазу 2–3 та 5–6 пар листків підвищувало посухо- і жаростійкість рослин та забезпечувало максимальний урожай гібриду Ясон (2,70–2,73 т/га). Для гібриду ПР 64E83 комплекс препаратів підвищив урожайність до 3,12 т/га, що на 0,7 т/га (22,4 %) більше за контроль. Також відмічено збільшення діаметра кошика, маси 1000 насінин і маси насіння з кошика. Застосування регуляторів росту (Вимпел, Вимпел-К) у поєднанні з мікродобривами (Оракул мультикомплекс, Оракул коламін бор) суттєво підвищує стійкість соняшнику до стресових умов і врожайність [43, 44].

У дослідженні 2021–2023 рр. в Лівобережному Лісостепу порівнювали вплив п'яти варіантів удобрення (без добрив, N30P40, N40P60, N40P60K40, N60P90) на врожайність гібридів соняшнику Ореол (ранньостиглий), Кадет (середньоранній) та Драйв (середньостиглий). Мінеральні добрива збільшували

урожайність і валову енергію, але суттєво підвищували енерговитрати (на 32–66 %). Приріст урожайності становив: Ореол – 3,9–7,9 %, Кадет – 7,1–8,5 %, Драйв – 2,5–6,1 %. Гібрид Кадет практично не реагував на підвищення дози добрив: урожайність і вихід енергії майже не змінювалися. Найвищий коефіцієнт енергетичної ефективності був у варіантах без добрив: Ореол – 6,39, Кадет – 6,20, Драйв – 6,48. Зі збільшенням дози добрив енергоефективність знижувалась на 19–36 %. Внесення мінімальної дози N30P40 забезпечувало приріст урожайності без значного зниження енергетичної ефективності і було найбільш доцільним [44]

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Ґрунтово–кліматичні умови місця проведення досліджень

Дослідження щодо визначення ефективності мінерального живлення соняшнику за ґрунтової неоднорідності поля проводилися у 2025 р. у стаціонарному досліді кафедри агрохімії та якості продукції рослинництва ім. О.І. Душечкіна у ВП «Агробіологічна дослідна станція» НУБіП України.

За гранулометричним складом досліджуваний лучно-чорноземний ґрунт є середньосуглинковими з домінуванням грубопилуватого фракційного складу, що є характерним для Лісостепової зони Київської області.

Вміст фракції фізичної глини (<0,01мм) у профілі становить 20–25%. Морфологічно орний шар ґрунту (0–30см) відзначається зернисто пилуватою структурою, тоді як під ним підорний горизонт має горіхово зернисту будову. Рівень ґрунтових вод залягає на значній глибині, у межах 3–5м. Материнська порода представлена карбонатним лесом, який починає залягати на глибині 180–210 см і містить від 9 до 11% карбонатів кальцію. У шарі 0-20 см вміст загального азоту складає 0,27-0,31 %, загального фосфору 0,15-0,15%, а валового калію 2,3-2,5%. Згідно з результатами агрохімічних аналізів, вміст рухомого фосфору (за методом Мачигіна) становить 33-34 мг/кг ґрунту, а вміст обмінного калію 98-103 мг/кг ґрунту.

Кліматичні характеристики місця проведення дослідження оцінюються як сприятливі для широкого спектра сільськогосподарських культур. Середньорічний температурний режим фіксується на позначці +7,5°C. Річна амплітуда коливань температури демонструє мінімальні значення у лютому (-4,4°C) та досягає свого максимуму, як правило, у липні (+19°C). Середньорічна кількість атмосферних опадів становить 591 мм, характеризуючись відносно рівномірним розподілом протягом календарного року. Аналіз сезонного розподілу показує, що під час зимового періоду,

помірна кількість опадів припадає на грудень (47 мм), січень (36 мм), лютий (33 мм). Під час літнього періоду спостерігається найбільша інтенсивність опадів у такі місяці як, червень (74 мм), липень (75 мм), серпень (65 мм). Такий режим зволоження позитивно корелює з оптимальним проходженням ростових процесів та розвитку сільськогосподарських рослин.

2.2. Погодно-кліматичні умови зони проведення досліджень

Динаміка середніх максимальних і мінімальних температур повітря впродовж періоду з січня по вересень характеризується найнижчими температурними показниками лютому ($-5,9^{\circ}\text{C}$) (рис.2.1).

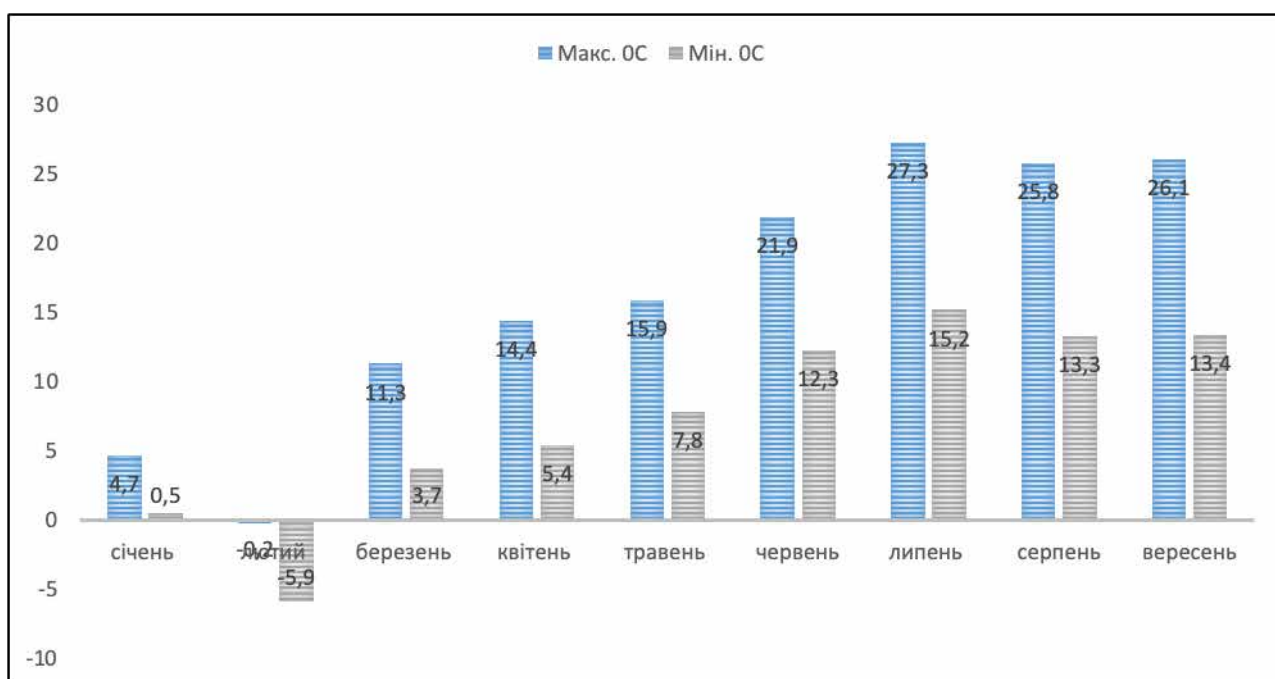


Рис. 2.1. Середньомісячна максимальна та мінімальна температура повітря, $^{\circ}\text{C}$

З березня простежується поступове зростання, як максимальних так і мінімальних температур. Найвищі температури зафіксовано в літні місяці: у липні середня максимальна температура досягає $27,3^{\circ}\text{C}$, а мінімальна $15,2^{\circ}\text{C}$, що визначає його як найтепліший місяць року. Схожий температурний режим зберігається до вересня місяця.

Найвищі показники відносної вологості повітря спостерігаються у зимові місяці, а саме січні (81,5 %) та лютому (70,8 %), поступово знижуючись до мінімального значення у вересні (49,9 %) (рис. 2.2).

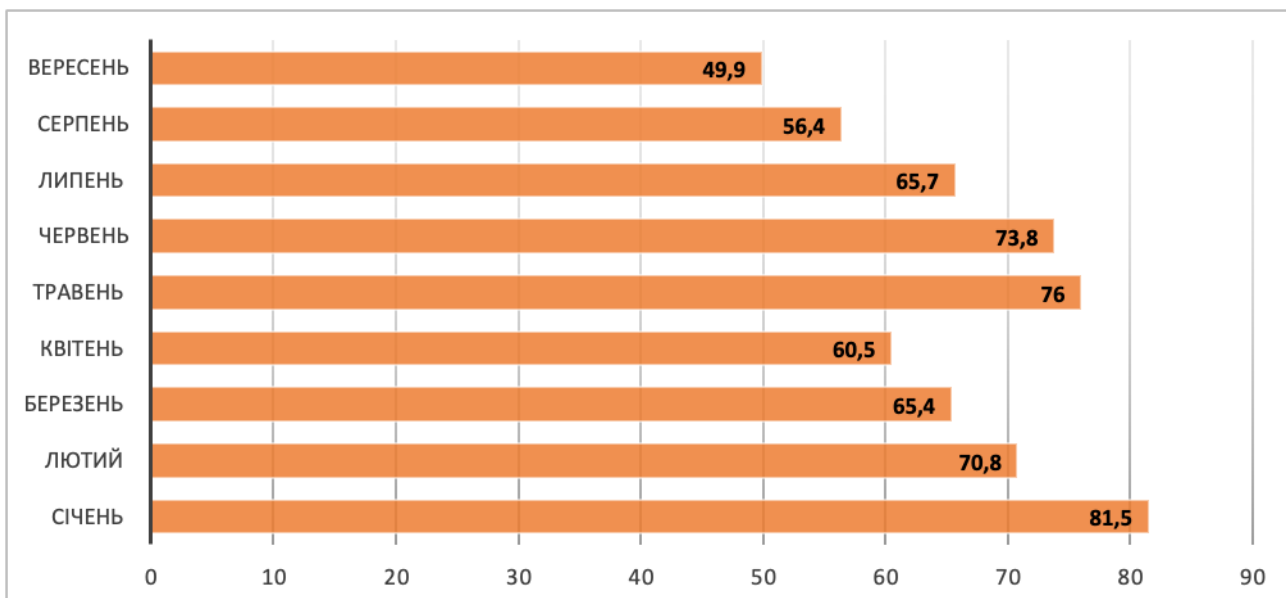


Рис. 2.2. Середньомісячна відносна вологість повітря, %

У весняно-літній період вологість змінюється від 60,5 % (квітень) до 73,8 % (червень), що свідчить про сезонні коливання. Аналіз рівня загрози заморозків, впродовж року, а саме коефіцієнт ймовірності, де 1 – це висока ймовірність заморозків, а 0 – це немає ймовірності заморозків. Отже, максимальна ймовірність їх виникнення спостерігається у лютому (0,6), тоді як в інші місяці показник відсутній, що свідчить про мінімальний ризик заморозків у решту періоду року (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Рівень загрози заморозків

Аналіз середньомісячної швидкості вітру (м/с) впродовж року зазначив найвищий показник у червні де швидкість вітру становила 5,1 м/с (рис. 2.4).

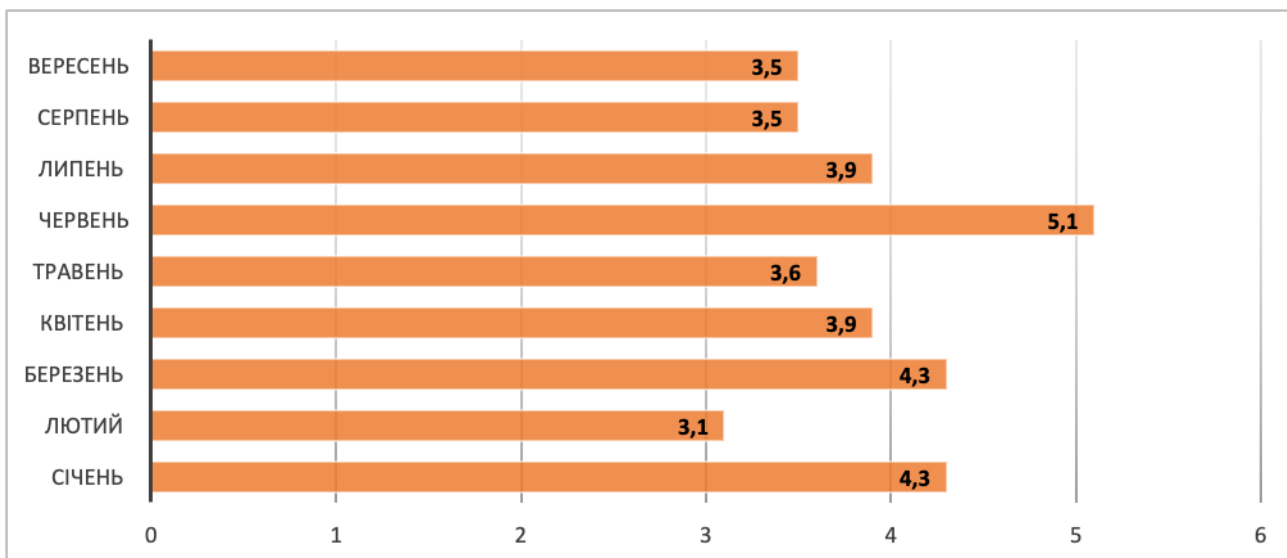


Рис. 2.4. Середньомісячна швидкість вітру, м/с

Високі показники також спостерігаються у січні та березні (по 4,3 м/с), мінімальні значення припадають на лютий (3,1 м/с), серпень та вересень (по 3,5 м/с). Отже, найвітряннішим періодом був початок літа (червень), а також місяці січень та березень, а найменш вітряно було в кінці зими, наприкінці літа та на початку осені.

Сума опадів за досліджуваний період становить 591 мм, що характеризує регіон як зону помірного зволоження. Розподіл опадів є нерівномірним (рис. 2.5)

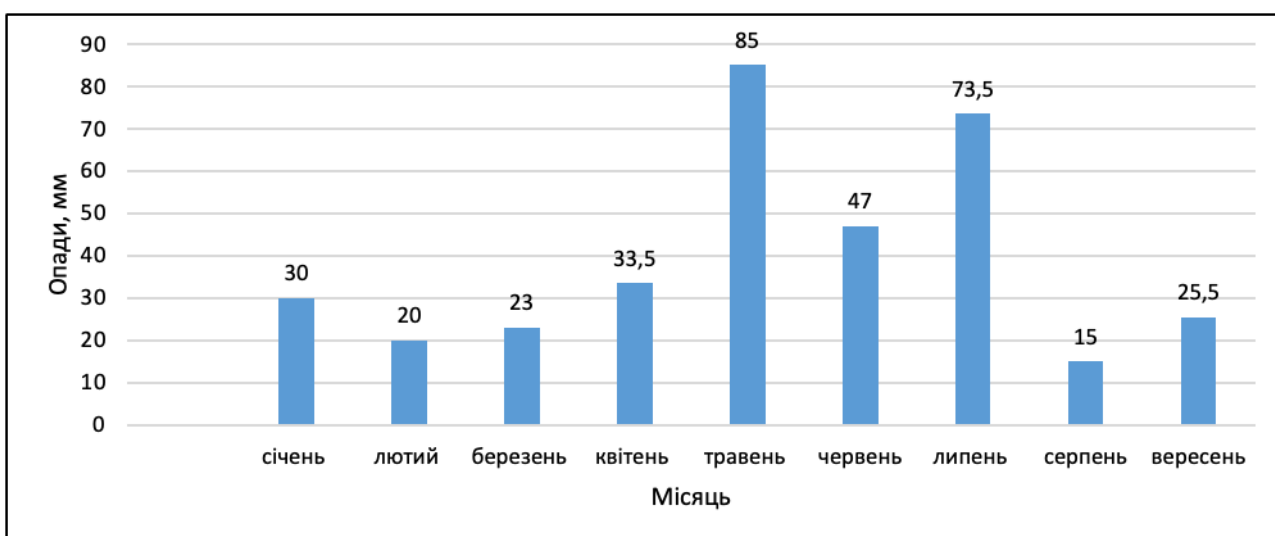


Рис. 2.5. Сума опадів, мм

Найбільші їх значення припадають на пізню весну та літо: травень - 85,0 мм, липень - 73,5 мм, червень - 74 мм. Весняний максимум опадів синхронізується з інтенсивним ростом рослин і визначає критичний період формування врожайності. Мінімальна кількість опадів спостерігається у серпні (15 мм).

Кліматичні умови зони досліджень загалом сприятливі для вирощування основних сільськогосподарських культур. Тепловий режим забезпечує енергією для формування високого врожаю, а весняно-літній максимум опадів співпадає з критичними фазами росту більшості культур. Разом з тим, нерівномірність опадів, загроза літніх посух і підвищена швидкість вітру в окремі періоди потребують коригування системи агротехнічних та агрохімічних заходів для стабілізації продукційного процесу.

2.3 Програма і методика проведення досліджень.

Дослідження проводились у п'ятипільній сівозміні з таким чергуванням сільськогосподарських культур: 1. Ячмінь ярий з підсівом люцерни; 2 Люцерна на з/к; 3. Соняшник; 4. Пшениця озима; 5. Кукурудза на зерно. Питання оптимізація мінерального живлення соняшнику за ґрунтової неоднорідності поля досліджувалися за наступною схемою (табл. 2.1).

Препарати застосовували відповідно до зон ґрунтової неоднорідності, що були побудовані за результатами попередньої агрохімічної оцінки ґрунту. У дослідженні було використано польовий, агрохімічний, лабораторний, біометричний, інструментальний та статистичний методи. Дослід закладено у трьох повтореннях. Відбір ґрунту й рослин здійснювали у фазах ВВСН 16 та 97.

Агрохімічні та лабораторні аналізи проводили за стандартними методиками: визначали вміст азоту, фосфору, калію, рН. Біометричні показники включали висоту рослин, густоту стояння, масу 1000 насінин. Статистичну обробку результатів виконано в MS Excel. Погодні дані брали з місцевої метеостанції.

Таблиця 2.1.

Фактор А. Зона забезпечення		Фактор В. Підживлення мікродобривами	
Позначення варіанта	Добриво	Позначення варіанта	Мікростадія, шкала ВВСН, фенологічна фаза
Контроль	Без добрив	Без внесення (вода)	14-16 4–8 листіків
		Органік баланс (0,5 л/га)	
		Хелпрост Універсальний КС- (1,0 л/га)	
		Біосон (2,0 л/га)	
		Гуміфілд (2,0 л/га)	
		Реаком (1,0 л/га)	
Низька (N)	N ₂₅ P ₂₅ K ₃₅	Без внесення (вода)	
		Органік баланс (0,5 л/га)	
		Хелпрост Універсальний КС- (1,0 л/га)	
		Біосон (2,0 л/га)	
		Гуміфілд (2,0 л/га)	
		Реаком (1,0 л/га)	
Середня (S)	N ₅₅ P ₅₅ K ₈₀	Без внесення (вода)	
		Органік баланс (0,5 л/га)	
		Хелпрост Універсальний КС- (1,0 л/га)	
		Біосон (2,0 л/га)	
		Гуміфілд (2,0 л/га)	
		Реаком (1,0 л/га)	
Висока (V)	N ₈₀ P ₈₀ K ₁₂₀	Без внесення (вода)	
		Органік баланс (0,5 л/га)	
		Хелпрост Універсальний КС- (1,0 л/га)	
		Біосон (2,0 л/га)	
		Гуміфілд (2,0 л/га)	
		Реаком (1,0 л/га)	

Характеристика препаратів. У нашій роботі розглянемо такі препарати. Гуміфілд це водорозчинний біопрепарат на основі солей гумінових і фульвових кислот (приблизно 750 г/кг і 80 г/кг відповідно), а також амінокислот, калію і мікроелементів.

Показує сприятливий вплив на зростання кореневої системи, конкурентоспроможність рослин у стресових умовах, врожайність і якість продукції. Використовується як для передпосівної обробки насіння, так і для позакореневого внесення на широкому спектрі сільськогосподарських культур, рекомендований в органічному землеробстві [45].

Help Rost (Хелп Рост) – органо-мінеральне рідке добриво-укорінювач, розроблене компанією БТУ Центр (Україна). Складається з амінокислот (> 16 видів), полісахаридів, вітамінів групи В, хелатованих макро- та мікроелементів (K₂O 3 г/л, Zn 0,27 г/л, Cu 0,17 г/л, B 0,48 г/л, Mn 0,64 г/л), а також бактерій виду *Bacillus subtilis* та *Enterococcus*. Препарат стимулює проростання насіння, розвиток кореневої системи, покращує приживлюваність, зростання та імунітет рослин, підвищує їхню стійкість до стресових чинників, покращує лежкість і якість продукції. Рекомендується застосовувати його як через замочування, так і через полив або обприскування, залежно від типу культури й фаз зростання (дозування варіюються від 35 мл/10 л до 70 мл/10 л залежно від призначення) [46].

«Реаком-СР-Соняшник» високоефективний препарат, композиція мікроелементів в хелатній формі з підвищеними прилипаючими властивостями для передпосівної обробки насіння та для позакореневого підживлення посівів соняшника, що містить набір мікроелементів у вигляді хелатів, тобто в біологічно активній формі, добре засвоювання рослинами. Препарат Реаком вирізняється нижчою собівартістю за хелатний грам, кращою біодоступністю, додатковими властивостями (антифунгіцидними, сумісністю з агрохімією), а також розробкою, адаптованою до українських умов [47].

«Органік Баланс» – біопрепарат, антистресант, що може використовуватися як для обробки насіння, так і під час вегетації. Склад препарату включає *Bacillus velezensis* (*Bacillus subtilis*), *Agrobacterium pusense* (*Azotobacter chroococcum*), *Paenibacillus polymyxa*, *Enterococcus hirae* (*Enterococcus faecium*), *Lactobacillus delbrueckii* sp. *bulgaricus*. Дія препарату

полягає у наданні захисного та іонстимулюючого ефекту, покращенні розвитку рослин завдяки дії фітогормонів, амінокислот і вітамінів [48].

Біосон 15 - листкове добриво для соняшнику. Фаза внесення ВВСН 15-20. Склад препарату включає такі елементи: N 100 г/л, P₂O₅ 200 г/л (фосфат 100 г/л, фосфіт 100 г/л), K₂O 60 г/л, Cu 3 г/л, Zn 3 г/л, Mn 4 г/л. Норма витрати 2 л/га.

Для досягнення поставленої мети досліджень було застосовано комплекс методик, що охоплюють польовий, агрохімічний, лабораторний, біометричний, фізико-хімічний, інструментальний та статистичні аналізи. Дослідницькі роботи проводилися у рамках стаціонарного експерименту, закладеного на базі кафедри агрохімії та якості продукції рослинництва.

Для агрохімічної оцінки вмісту поживних елементів у ґрунті використовувались стандартизовані методи. Кількісне визначення нітратного азоту (N-NO₃⁻) проводилося із застосуванням іонселективних електродів відповідно до ДСТУ 4729:2007. Амонійний азот (N-NH₄⁺) визначався фотометричним методом. Реакцію ґрунтового розчину (рН) оцінювали у сольовій витяжці згідно з ДСТУ ISO 10390:2007. Вміст рухомих сполук фосфору та калію визначався за методиками Мачигіна, які використовуються для агрохімічної паспортизації земель.

У рослинах визначали вміст фосфору - фотометричним методом за Деніже в модифікації А. Левицького, сполук азот - фотометричним методом із використанням реактиву Несслера, калій - полум'яно фотометричним методом. Для визначення загального вмісту макроелементів попередньо здійснювалось озолення зразків за методикою К. Гінзбург.

Впродовж вегетаційного періоду проводились біометричні обліки, що включали визначення таких параметрів: висота рослин, кількість листків, площа листової поверхні, діаметр кошика та маса 1000 насінин. Окрім того, фіксувалась біологічна врожайність та розраховувалась відносна продуктивність залежно від застосованих варіантів мінерального живлення. Інструментальне забезпечення експерименту включало використання фотометра «Агровектор ПФ-014-02» для дослідження елементного складу

рослинного соку, вологоміра Grain Moisture Tester РМ-450 для контролю вологості насіння, а також лабораторних ваг для точних масових вимірювань. Також застосовувався хроматограф для детального дослідження жирнокислотного складу отриманого насіння.

Статистична обробка отриманих експериментальних даних здійснювалася із залученням методів варіаційної статистики. Були розраховані середні значення, стандартне відхилення, коефіцієнт варіації, а також проведено дисперсійний аналіз для встановлення достовірності різниць між експериментальними варіантами.

Погодні умови року проведення досліджень були враховані при аналізі результатів. З цією метою використовувалися метеодані із платформи Eos crop monitoring щодо середньодобової температури повітря, кількості опадів та відносної вологості протягом усього вегетаційного періоду.

2.4 Технологія вирощування соняшнику

Посів проведено 25.04.2025 року з нормою висіву 63 тис. насінин/га. Був посіяний ранньостиглий гібрид Вольф. 26.04.2025 був внесений ґрунтовий гербіцид Прим Екстра Теза Голд у нормі 4,5 л/га. 05.06.2025 внесено Фюзілад форте у нормі 1,6 л/га. Система обробітку ґрунту включала: дискування на 8–10 см після збирання попередника (люцерна); оранка на 25–27 см; ранньовесняне закриття вологи, передпосівна культивування на (6–8 см), після посіву до змикання рядків, був проведений міжрядний обробіток.

Досліджувався гібрид соняшнику РЖТ Волльф - ранньостиглий лінолевий гібрид із періодом вегетації 101-109 днів, зареєстрований у 2017 році. Він характеризується дуже високим вмістом олії (54-56 %), відмінною посухостійкістю (8 балів), надзвичайною стійкістю до вилягання (9 балів), а також високими показниками толерантності до фомопсису, іржі та білої гнилі (7-9 балів). Рекомендовані густоти варіюються залежно від зони: 45–52 тис./га (Степ), 50-55 тис./га (Північний Степ), 55-60 тис./га (Лісостеп) та 60-65 тис./га (Полісся) [49, 50].

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Зміна агрохімічних показників ґрунту залежно від досліджуваних чинників

На основі проведених агрохімічних досліджень встановлено вплив різного рівня забезпечення поживними елементами (NPK) на зміну основних показників родючості чорнозему вилугованого впродовж вегетації соняшника. Було виділено три зони забезпечення: низька ($N_{25}P_{25}K_{35}$), середня ($N_{55}P_{55}K_{80}$) та висока ($N_{80}P_{80}K_{120}$), а також контрольний варіант без добрив. Дослідження проводили у дві фази розвитку культури: ВВСН 14–16 (4–6 пар листків) та ВВСН 97 (фаза збирання врожаю). Динаміки зміни реакції ґрунтового розчину (рН) залежно від зони забезпечення та фази розвитку соняшника, представлена початковим періодом вегетації (фаза ВВСН 14-16) та кінцевим (фаза ВВСН 97). Встановлено, що найнижчий показник кислотності спостерігали у варіанті з високою забезпеченістю добривами (рН 5,96), тоді як у контролі та середній зоні забезпечення рН був значно вищим (6,57 і 6,30 відповідно) (рис. 3.1).

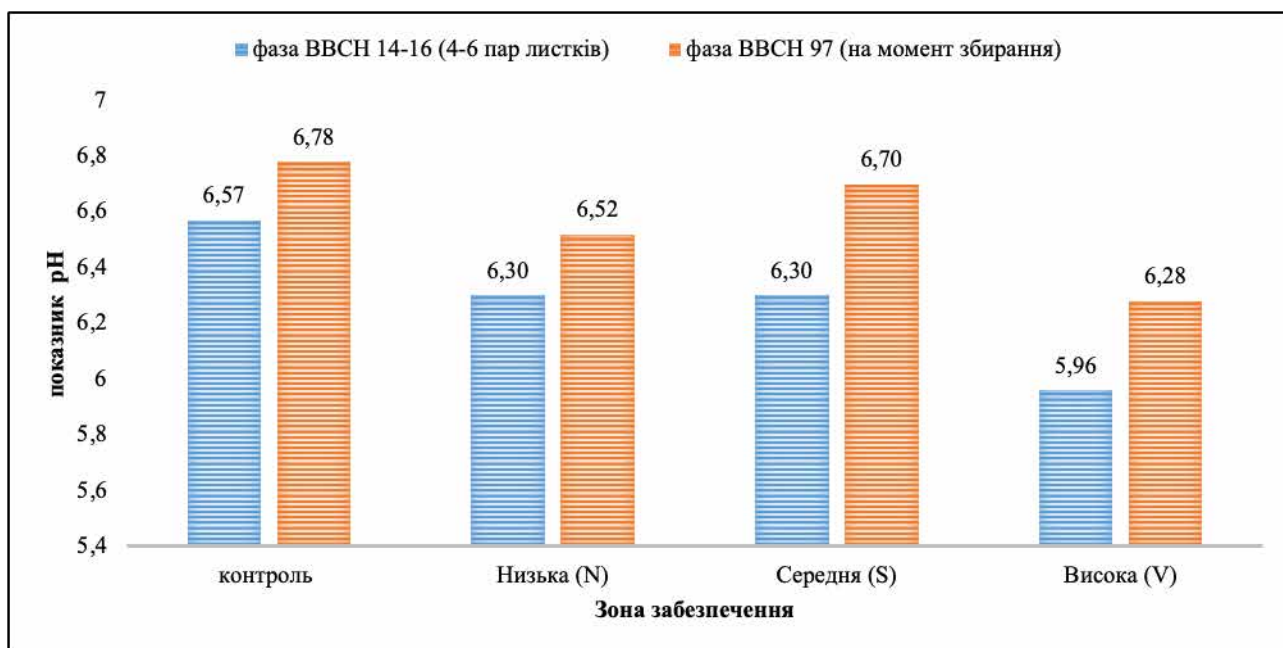


Рис. 3.1. Показники кислотності ґрунту

Примітка. Зона забезпечення: Низька ($N_{25}P_{25}K_{35}$); Середня ($N_{55}P_{55}K_{80}$); Висока ($N_{80}P_{80}K_{120}$)

Це може бути наслідком інтенсивнішого засвоєння катіонів рослинами або фізіологічно кислої дії деяких мінеральних добрив на ранніх етапах. На час

збирання (ВВСН 97) встановлено зростання показника рН в усіх варіантах. Найвищим значення виявилось у середній зоні (6,70), тоді як у високій – 6,28. Отримані результати свідчать про те, що внесення підвищених доз мінеральних добрив може тимчасово знижувати рН ґрунтового розчину, проте в подальшому за рахунок буферних властивостей чорнозему кислотність вирівнюється. Найоптимальніший рівень рН формувався у середній зоні забезпечення.

Уміст мінерального азоту в чорноземі вилугованому істотно залежав як від рівня удобрення, так і від фази розвитку культури. Аналіз результатів досліджень засвідчує чітку тенденцію до суттєвого зниження вмісту мінерального азоту у ґрунті в період між фазами ВВСН 16 та ВВСН 97 в усіх експериментальних варіантах, що є прямим наслідком інтенсивного поглинання NO_3^- соняшником протягом вегетації. Встановлено, що у фазі 4–6 пар листків концентрація азоту суттєво зростала зі збільшенням дози NPK (зони забезпечення): від 97,31 мг/кг на контролі (без внесення добрив) до 161,67 мг/кг у зоні високої забезпеченості. Це вказує на безпосередню залежність запасів мінерального азоту від внесених добрив (рис. 3.2).

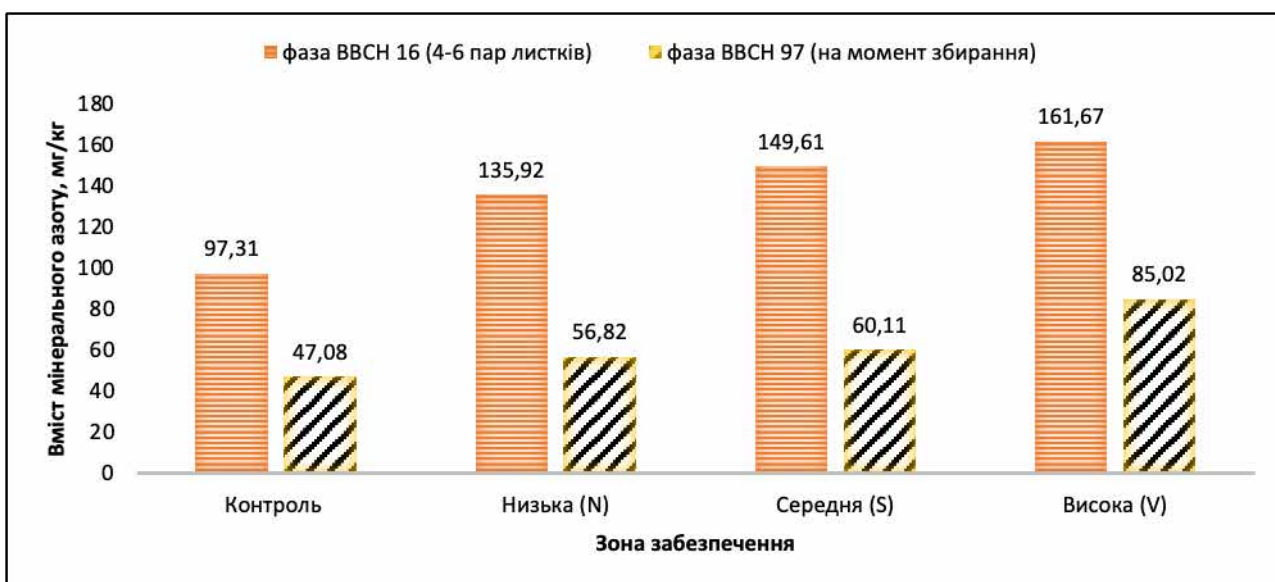


Рис. 3.2. Вміст мінерального азоту в ґрунті, мг/кг

Примітка. Зона забезпечення: Низька ($\text{N}_{25}\text{P}_{25}\text{K}_{35}$); Середня ($\text{N}_{55}\text{P}_{55}\text{K}_{80}$); Висока ($\text{N}_{80}\text{P}_{80}\text{K}_{120}$)

До фази ВВСН 97 спостерігали значне зниження вмісту азоту у 2–3 рази залежно від варіанту досліду. Такі зміни пояснюються інтенсивним споживанням азоту рослинами соняшника упродовж вегетації, а також можливими втратами за рахунок мінералізації та денітрифікації. Проте навіть наприкінці вегетації концентрація азоту залишалася найвищою в ґрунтах високої зони забезпечення (85,02 мг/кг).

Рухомі форми фосфору є одним із ключових показників забезпеченості рослин доступними елементами живлення та важливою характеристикою фосфатного режиму ґрунту. Фосфор бере участь у процесах енергетичного обміну, формуванні кореневої системи, регулюванні ростових процесів та формуванні генеративних органів. Тому дослідження його динаміки впродовж вегетації є необхідним для оцінки ефективності застосованих систем мінерального удобрення.

На рисунку 3.3 наведено дані щодо вмісту рухомих сполук фосфору (за методом Мачигіна) у чорноземі вилугованому залежно від рівня мінерального забезпечення, що включав низьку ($N_{25}P_{25}K_{35}$), середню ($N_{55}P_{55}K_{80}$) та високу ($N_{80}P_{80}K_{120}$) зони забезпечення.

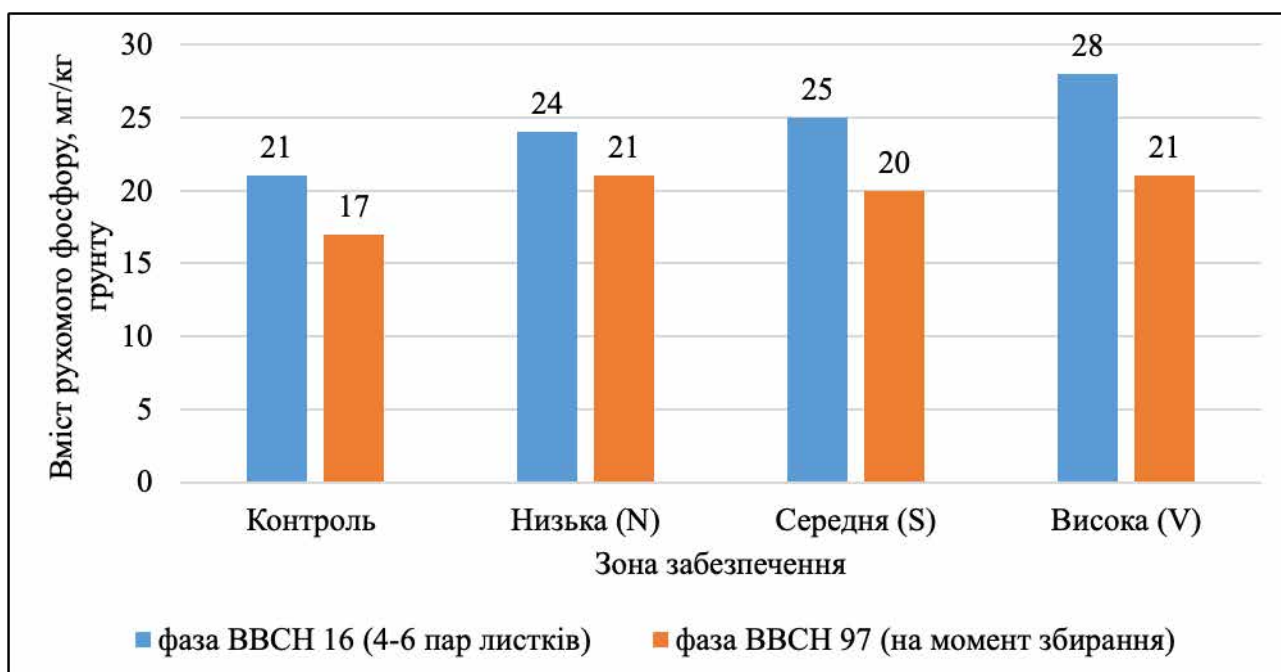


Рис. 3.3. Вміст рухомого фосфору P_2O_5 мг/кг ґрунту, за методом Мачигіна Примітка. Зона забезпечення: Низька ($N_{25}P_{25}K_{35}$); Середня ($N_{55}P_{55}K_{80}$); Висока ($N_{80}P_{80}K_{120}$)

Вміст фосфору визначали у дві фази органогенезу: ВВСН 16 (4–6 пар листків) та ВВСН 97 (на момент збирання), що дозволило оцінити як стартові запаси, так і їх трансформацію за період вегетації. У контрольному варіанті, де добрива не застосовувалися, у фазі ВВСН 16 вміст рухомого фосфору становив 21 мг/кг, а до моменту збирання знизився до 17 мг/кг. Це свідчить про використання фосфору рослинами та наявність природної тенденції до зменшення його доступних форм без поповнення за рахунок добрив.

У низькій зоні забезпечення ($N_{25}P_{25}K_{35}$) на початку вегетації вміст фосфору зріс до 24 мг/кг, що відображає позитивну дію внесеного фосфорного добрива. До фази ВВСН 97 цей показник зменшився до 21 мг/кг, що засвідчує помірне винесення елемента рослинами на фоні обмежених доз мінерального живлення. Середня зона забезпечення ($N_{55}P_{55}K_{80}$) забезпечила дещо вищу стартову концентрацію рухомих фосфатів - 25 мг/кг у фазі ВВСН 16. Однак до моменту збирання рівень фосфору знизився до 20 мг/кг, що може бути наслідком активного поглинання елемента рослинами в період формування продуктивності. Найвищі показники рухомих форм фосфору зафіксовано у високій зоні забезпечення ($N_{80}P_{80}K_{120}$). У фазі ВВСН 16 вміст доступних форм становив 28 мг/кг, що перевищує контроль на 7 мг/кг. До моменту збирання концентрація зменшилася до 21 мг/кг, проте залишалася на рівні, характерному для низької та середньої зон забезпечення на початку вегетації. Це свідчить про достатній рівень накопичення та збереження доступних форм фосфору в ґрунті навіть після завершення вегетації за умов інтенсивного мінерального живлення.

Отже, отримані результати свідчать, що вміст рухомого фосфору в чорноземах вилугованих прямо залежить від рівня внесення мінеральних добрив. Найвища стартова забезпеченість спостерігається у варіантах із підвищеними дозами NPK, тоді як у контрольному та низькому рівнях живлення запас доступного фосфору є обмеженим. Упродовж вегетації відзначено зниження вмісту рухомого фосфору у всіх варіантах, що пов'язано з його інтенсивним засвоєнням рослинами. Водночас висока зона забезпечення забезпечила найстабільніший фосфатний режим ґрунту, що є передумовою

формування високої продуктивності агроценозу та підтримання родючості ґрунту.

Одним із ключових показників родючості чорноземів вилугованих та ефективності системи удобрення є забезпеченість ґрунту рухомими сполуками калію. Калій відіграє важливу фізіолого-біохімічну роль у формуванні продуктивності культур, впливаючи на регуляцію водного режиму, синтез вуглеводів, стійкість до стресових чинників та накопичення сухих речовин. Тому оцінка змін його рухомих форм упродовж вегетації є необхідною для встановлення оптимальних режимів удобрення.

На рисунку 3.4 наведено результати визначення вмісту рухомих сполук калію (K_2O) у ґрунті за методом Мачигіна залежно від рівня мінерального живлення. Дослідження проводилися у дві фази розвитку культури: ВВСН 16 (4–6 пар листків) та ВВСН 97 (момент збирання), що дозволяє оцінити як стартові запаси елемента, так і його динаміку впродовж вегетації.

У контрольному варіанті вміст рухомого калію у фазі ВВСН 16 становив 125 мг/кг, тоді як до моменту збирання знизився до 111 мг/кг (рис. 3.4).

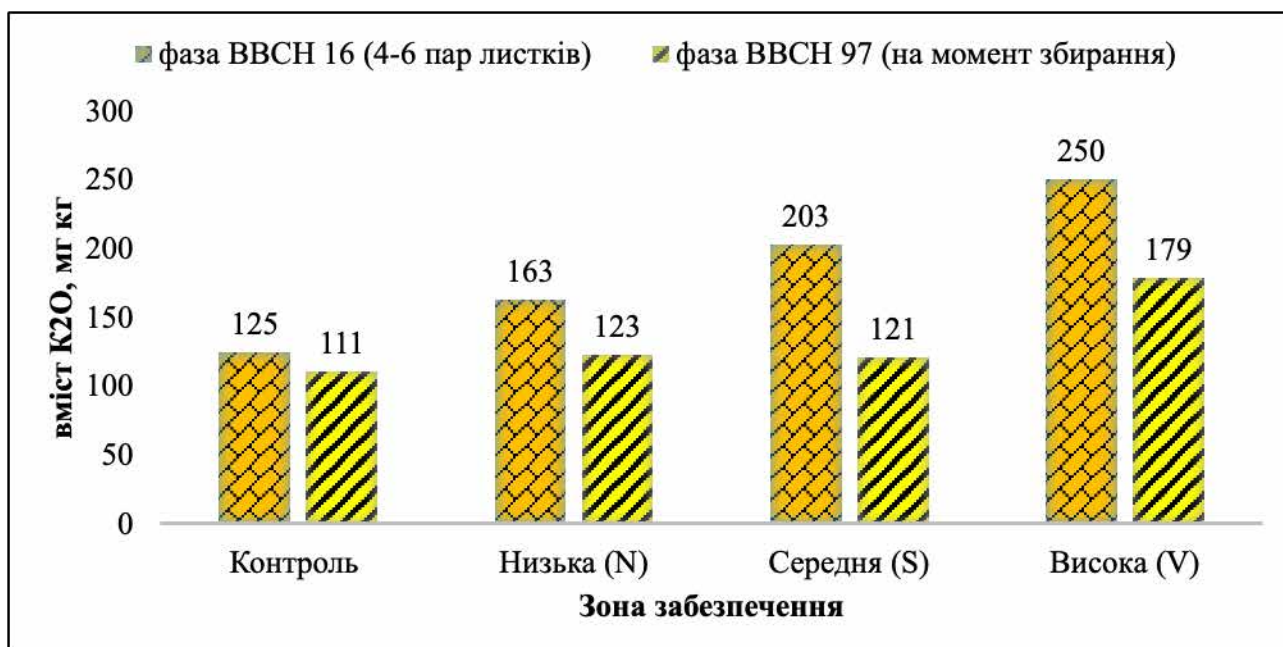


Рис. 3.4. Вміст рухомих сполук калію в ґрунті за методом Мачигіна, мг/кг

Примітка. Зона забезпечення: Низька ($N_{25}P_{25}K_{35}$); Середня ($N_{55}P_{55}K_{80}$); Висока ($N_{80}P_{80}K_{120}$)

Це свідчить про природне використання доступних форм калію рослинами без компенсації з добрив. У низькій зоні забезпечення ($N_{25}P_{25}K_{35}$) показники на початку вегетації були вищими - 163 мг/кг, що відображає певний позитивний ефект внесеного калію. Проте до фази ВВСН 97 концентрація рухомого K_2O знизилася до 123 мг/кг, що зумовлено активним винесенням калію рослинами на фоні обмежених доз удобрення.

Середня зона забезпечення ($N_{55}P_{55}K_{80}$) забезпечувала значно вищий рівень доступного калію у фазі ВВСН 16 - 203 мг/кг, що майже вдвічі перевищує контроль. Проте впродовж вегетації спостерігалось істотне зменшення цього показника, і у фазі ВВСН 97 його вміст становив 121 мг/кг. Це зниження свідчить про інтенсивне поглинання калію рослинами за умов формування високопродуктивного агроценозу. Водночас післядія добрив у цій зоні виявилася менш стабільною порівняно з високим рівнем удобрення.

Найвищі значення вмісту рухомого калію зафіксовані у високій зоні забезпечення ($N_{80}P_{80}K_{120}$): 250 мг/кг у фазі ВВСН 16 та 179 мг/кг у фазі ВВСН 97. Незважаючи на зменшення впродовж вегетації, цей варіант зберіг найвищі залишкові запаси калію серед усіх досліджуваних систем удобрення. Це свідчить про достатню компенсацію винесення елемента рослинами та формування сприятливого калійного режиму ґрунту.

Загалом отримані результати демонструють, що вміст рухомих сполук калію в чорноземі вилугованому тісно залежить від рівня внесення мінеральних добрив. Зі збільшенням дози калійних компонентів зростає як стартова забезпеченість ґрунту, так і стабільність його калійного режиму протягом вегетації. Найзначніше зниження показників K_2O спостерігалось у середній зоні забезпечення, що може бути наслідком активного поглинання елемента рослинами у період інтенсивного росту та формування врожаю. У той же час високі дози добрив забезпечували формування оптимальних запасів калію і після проходження повного циклу розвитку культури.

Таким чином, рівень мінерального забезпечення суттєво впливає на динаміку рухомих форм калію в орному шарі чорнозему вилугованого. Висока

зона забезпечення створює найбільш стабільний калійний режим ґрунту, що сприяє підвищенню продуктивності агроценозу та збереженню родючості ґрунту, тоді як низькі дози мінеральних добрив не забезпечують достатнього рівня доступного калію упродовж усього періоду вегетації.

Показники валового вмісту мікроелементів у ґрунті є критичним для оцінки первинної забезпеченості посівів залежно від фази розвитку культури. Загальний вміст міді, цинку та марганцю у всіх дослідних варіантах демонструє відносно високу однорідність, що вказує на стабільний природний запас цих елементів (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Уміст валових мікроелементів в ґрунті (ВВСН 14-18)

Назва показників, мг/кг	НД на методи випробувань	Результати випробувань			
		Контроль	Низька (N)	Середня (S)	Висока (V)
Уміст валових форм міді, мг/кг	МВВ 081/12-0002-01	14,66	14,06	14,81	13,62
Уміст валових форм цинку, мг/кг	МВВ 081/12-0013-01	44,15	43,48	47,33	44,58
Уміст валових форм марганцю, мг/кг	МВВ 081/12-0011-01	225	211,4	225,1	217,2
Уміст валових форм кобальту, мг/кг	МВВ 081/12-0716-01	2,068	1,988	2,328	2,318

Примітка. Зона забезпечення: Низька (N₂₅P₂₅K₃₅); Середня (N₅₅P₅₅K₈₀); Висока (N₈₀P₈₀K₁₂₀)

Вміст цинку та марганцю коливається у вузьких межах, причому найвищі показники цих елементів зафіксовані у зоні середнього забезпечення (47,33 мг/кг цинку та 225,1 мг/кг марганцю). Вміст міді є найбільш однорідним (близько 14 мг/кг). Зона високого забезпечення має найвищий вміст кобальту (2,318 мг/кг), що перевищує контроль (2,068 мг/кг), тоді як у зоні низького і середнього забезпечення отримано дещо вищі рівні мікроелементів.

Загалом, ґрунт має достатній запас валових форм мікроелементів. Однак, значна варіативність вмісту елементів між дослідними варіантами свідчить про необхідність подальшого аналізу міграції важких металів та підтверджує важливість врахування просторової неоднорідності ділянки при плануванні живлення.

3.2 Аналіз рослини

Аналіз вмісту елементів живлення у рослинах показав, що базовий вміст азоту в рослинах соняшнику за вирощування в контрольному варіанті становить 2,42 % (рис. 3.5).

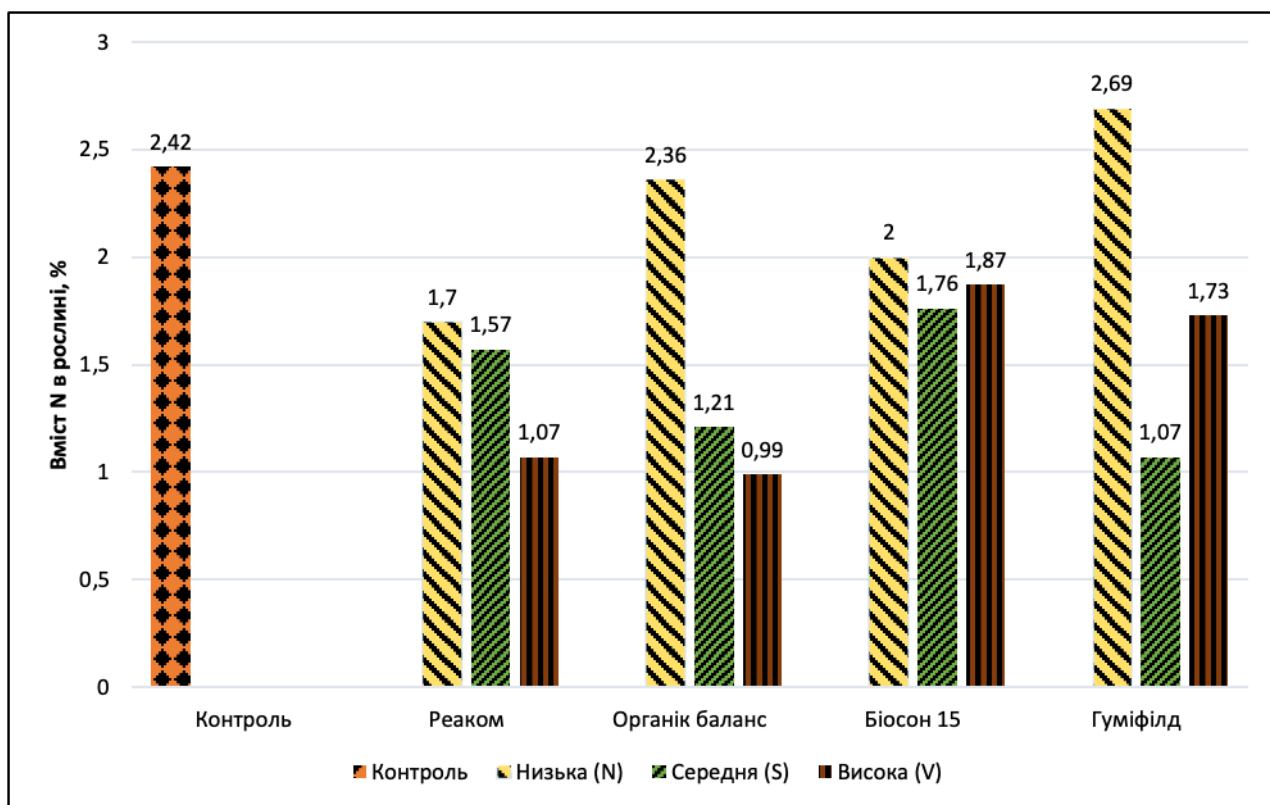


Рис. 3.5. Визначення вмісту сполук азоту в рослинах (%) фотометричним методом із реактивом Несслера

Примітка. Зона забезпечення: Низька ($N_{25}P_{25}K_{35}$); Середня ($N_{55}P_{55}K_{80}$); Висока ($N_{80}P_{80}K_{120}$)

Найвище накопичення азоту досягається в умовах низького (N) рівня забезпечення. Максимальний вміст азоту у всьому досліді зафіксовано за застосування препарату «Гуміфілд» у зоні низького забезпечення 2,69 %.

Високі показники у цій зоні також демонструють «Реаком» (2,42%) та «Органік Баланс» (2,36%). Це свідчить про те, що саме в умовах дефіциту основного живлення біопрепарати максимально активізують поглинання або фіксацію азоту, запобігаючи азотному голодуванню.

Характерною особливістю є загальний тренд до зниження вмісту азоту в рослинній масі зі зростанням рівня основного живлення від низького до середнього та високого. Це явище може бути пояснене як розведенням елемента за рахунок інтенсивного росту вегетативної маси, так і потенційним антагонізмом елементів у багатих ґрунтових розчинах. Мінімальний вміст азоту (0,99%) зафіксовано у зоні високого (V) забезпечення при застосуванні «Органік Баланс», що є найнижчим показником у всьому досліді і вимагає додаткового вивчення. Препарат «Біосон 15» відзначається відносно стабільним рівнем вмісту азоту, з піком 2,0 % у низькій зоні та зростанням від середньої (1,76%) до високої (1,87%) зон, що вказує на його здатність ефективно управляти азотним обміном на інтенсивних фонах.

Динаміка накопичення фосфору у вегетативній масі соняшнику, що є критично важливим для енергетичного та репродуктивного обміну, і знаходиться у прямій залежності від застосування біопрепаратів та рівня основного живлення наведено на рисунку 3.6. Загальний вміст у контрольному варіанті, де добрива не вносились, становить 2,5%. Внесення всіх досліджуваних препаратів, незалежно від зони забезпечення, забезпечує значне підвищення цього показника. Максимальний рівень накопичення фосфору зафіксовано у зоні середнього (S) забезпечення. Зокрема, препарат «Гуміфілд» забезпечив найвищий вміст P_2O_5 5,39 %, а препарат «Реаком» також продемонстрував високий показник 5,29 %, що підкреслює оптимальну синергію цих препаратів із середнім рівнем поживного фону.

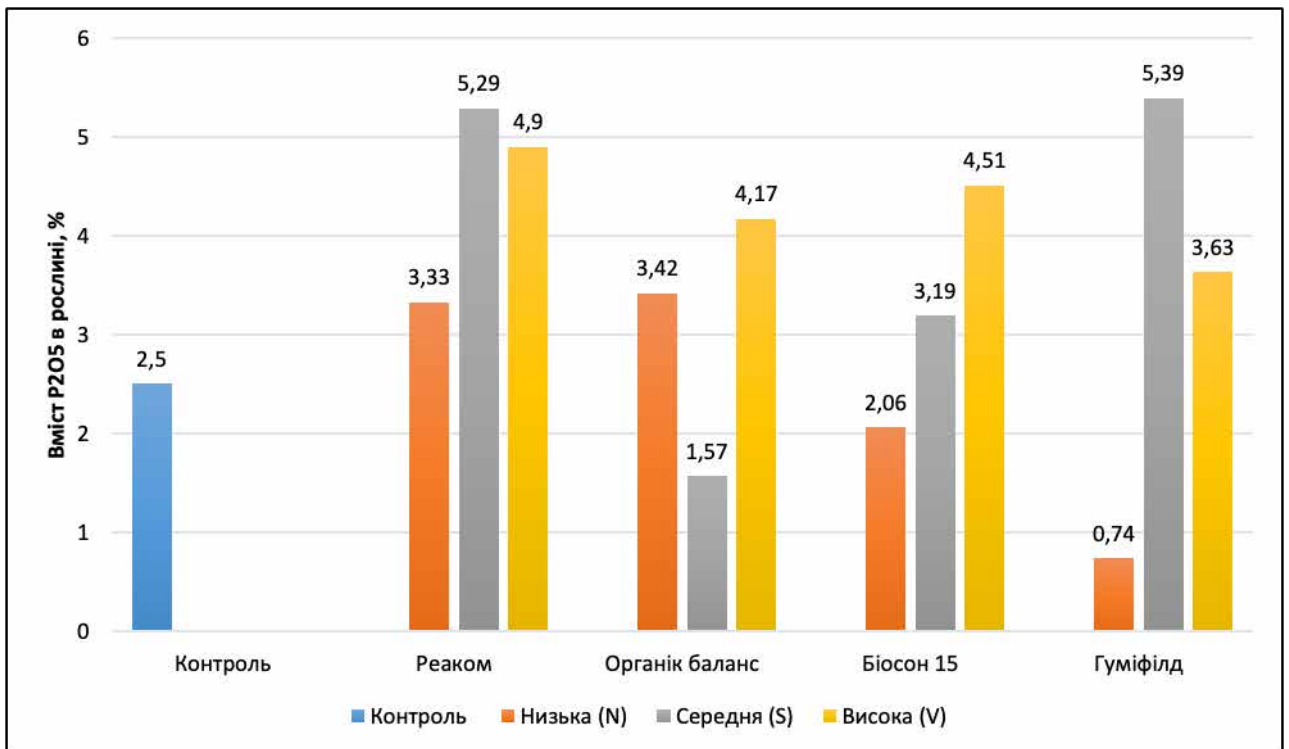


Рис. 3.6. Визначення вмісту фосфору в рослинах (%) фотометрично за методом Деніже в модифікації А. Левицького

Примітка. Зона забезпечення: Низька ($N_{25}P_{25}K_{35}$); Середня ($N_{55}P_{55}K_{80}$); Висока ($N_{80}P_{80}K_{120}$)

Варто відзначити, що у зоні низького (N) забезпечення вміст фосфору був значно нижчим, ніж у середній та високій зонах, що підтверджує лімітуючий фактор недостатнього основного живлення, який біостимулятори не можуть повністю компенсувати. У цій зоні найкращий показник належить «Реаком» (3,33%). При цьому у зоні високого (V) забезпечення вміст фосфору у рослинах, оброблених «Біосон 15», досяг 4,51%, що є найвищим показником для цієї зони. Однак, було зафіксовано аномальну реакцію: при застосуванні «Органік Баланс» у зоні середнього (S) забезпечення вміст P_2O_5 становив лише 1,57 %, що є навіть нижчим за контроль, що може вказувати на певний антагонізм препарату з поживним фоном або пригнічення поглинання фосфатів. Таким чином, найбільшу стимуляцію поглинання фосфору забезпечують препарати «Гуміфілд» та «Реаком» на середньому фоні основного живлення.

Динаміка накопичення оксиду калію (K_2O) у вегетативній масі соняшнику, що є життєво важливим для водного обміну та формування

стресостійкості культури наведено на рис. 3.7. Загальний вміст K_2O у контрольному варіанті становить 1,5%. Застосування всіх досліджуваних біопрепаратів забезпечує помітне підвищення цього показника, що підтверджує їхній позитивний вплив на процеси поглинання та транспорту калію. На відміну від фосфору, максимальні показники вмісту калію зафіксовано не у середній, а у низькій (N) зоні забезпечення, препарат «Реаком» забезпечив найвищий вміст калію 2,08%. Це свідчить про те, що в умовах обмеженого основного живлення, біопрепарати максимально активізують кореневу систему для поглинання доступного калію, ефективно запобігаючи дефіциту.

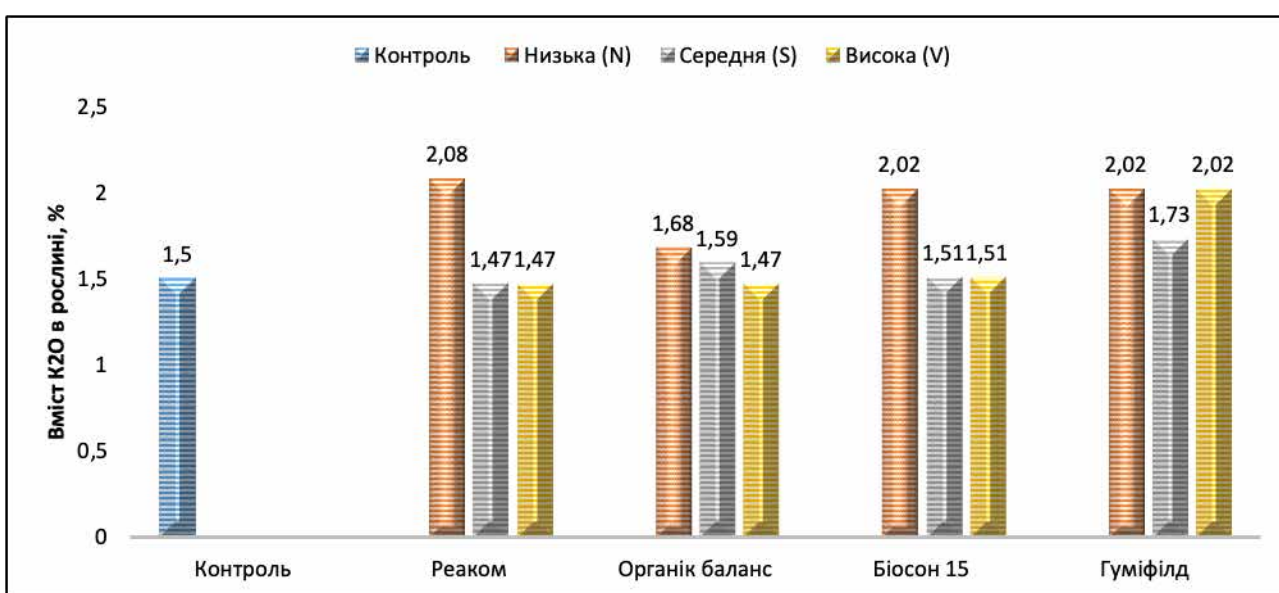


Рис. 3.7. Визначення загальних сполук калію у рослинному матеріалі фотометричним методом

Примітка. Зона забезпечення: Низька ($N_{25}P_{25}K_{35}$); Середня ($N_{55}P_{55}K_{80}$); Висока ($N_{80}P_{80}K_{120}$)

Препарат «Гуміфілд» також демонструє високий показник (2,02%) як у низькій (N), так і у високій (V) зонах, підкреслюючи його здатність стабілізувати калійний обмін. Вміст K_2O є більш стабільним і менше залежить від різниці між середньою (S) та високою (V) зонами порівняно з іншими елементами живлення. Препарат «Біосон 15», незважаючи на високу продуктивність, демонструє відносно помірний вміст калію, з піком 2,02 % у низькій зоні та стабільно середніми показниками у середній та високій зонах. Це дає підстави припустити, що його вплив на загальну урожайність пов'язаний

не стільки з накопиченням калію, скільки з оптимізацією метаболічного використання елемента рослиною. Таким чином, найбільшу стимуляцію поглинання калію забезпечують препарати «Реаком» та «Гуміфілд», особливо на фоні недостатнього основного живлення.

Таким чином, результати ілюструють, що для забезпечення максимального накопичення калію у рослинному матеріалі найбільш ефективною виявилася зона низького забезпечення за застосування біопрепаратів. Це підтверджує важливість оптимізації доз біопрепаратів для запобігання антагонізму іонів та досягнення максимальної ефективності живлення. Абсолютно кожне добриво по-різному діяло на вміст та кількість елементів живлення. Навіть більше, бачимо, що маємо різні результати в залежності від фону (рис. 3.8-3.9).

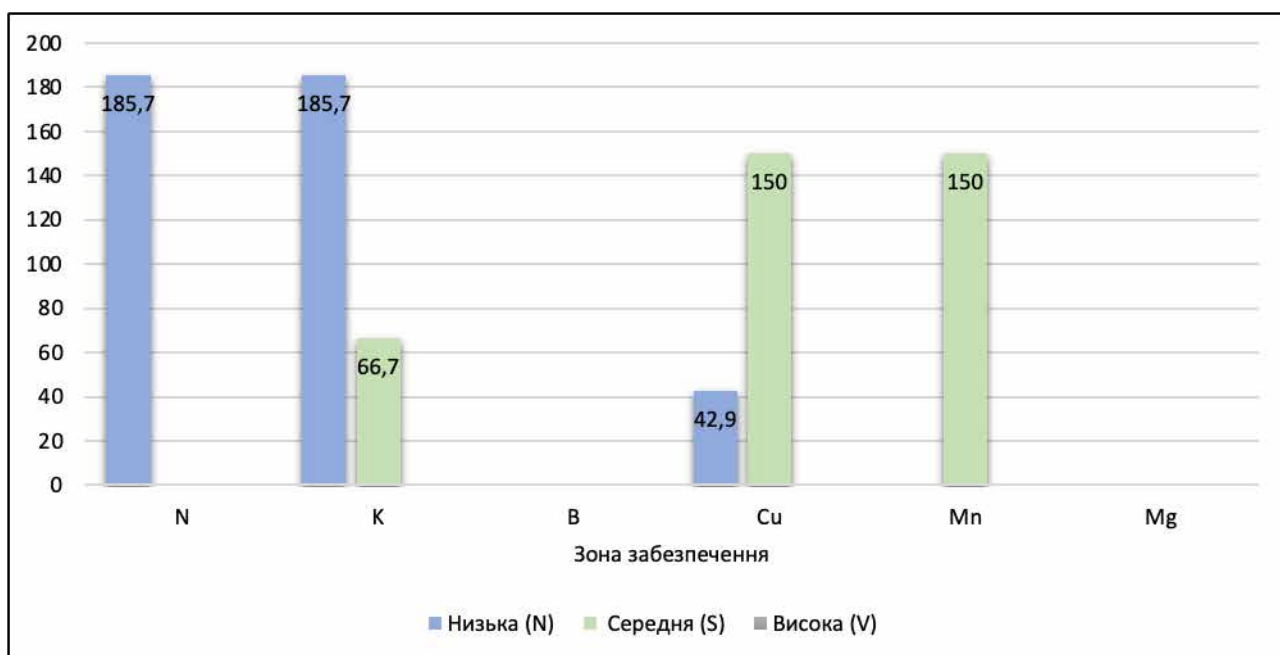


Рис. 3.8. Результати вимірювань біопрепарату Гуміфілд у зонах низького (N), середнього (S), високого (V) забезпечення, %

Примітка. Зона забезпечення: Низька ($N_{25}P_{25}K_{35}$); Середня ($N_{55}P_{55}K_{80}$); Висока ($N_{80}P_{80}K_{120}$)

На рисунку відображено відносний вміст макро- (N,K) та мікроелементів (Cu, Mn) у рослинному матеріалі за внесення біопрепарату "Гуміфілд". Аналіз показав, що мінімальна зона є оптимальною для акумуляції макроелементів:

вона забезпечила максимальний відносний вміст азоту (N) та калію (K) (близько 185% та 180% відповідно). Слід зазначити, що високого і середнього забезпечення вміст N та K суттєво знижується. Натомість, для мікроелементів спостерігається протилежна залежність: максимальна концентрація міді (Cu) та марганцю (Mn) (близько 150 % для обох) досягається у зоні високого забезпечення. Таким чином, результати підтверджують необхідність диференційованого дозування біопрепарату, оскільки різна доза є ефективною для різних груп елементів живлення. Можемо сказати, що гуміфілд з середньою S зоною забезпечення має найбільший вплив на кількість елементів живлення.

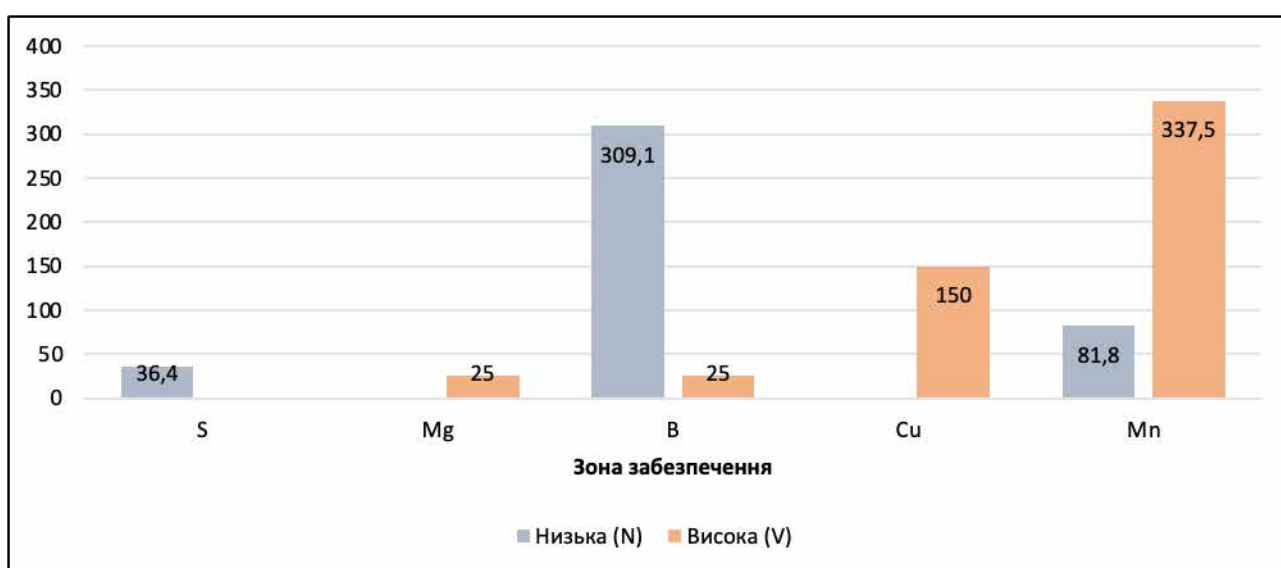


Рис. 3.9. Результати вимірювань біопрепарату Органік баланс у зонах низького (N) та високого (V) забезпечення, %

Примітка. Зона забезпечення: Низька ($N_{25}P_{25}K_{35}$); Середня ($N_{55}P_{55}K_{80}$); Висока ($N_{80}P_{80}K_{120}$)

На рисунку відображено відносний вміст мікроелементів (S, Mg, B, Cu, Mn) у рослинному матеріалі за застосування біопрепарату "Органік баланс" в зонах низького і високого забезпечення. Аналіз показав, що ефективність дозування є диференційованою: зона низького забезпечення є оптимальною для акумуляції бору (B) (близько 305 %) та сірки (S) (близько 40 %). Натомість, зона високого забезпечення виявилася найбільш ефективною для марганцю (Mn) та міді (Cu), забезпечивши максимальний відносний вміст цих елементів (близько 330% та 145% відповідно).

3.3 Біометричні показники рослини

Представлені дані ілюструють динаміку щільності посівів соняшника (тис. шт./га) на ключових етапах онтогенезу культури: фаза ВВСН 14-16 та фаза ВВСН 97. Використані такі препарати "Гуміфілд", "Реаком" та "Біосон". Аналіз початкової густоти (ВВСН 14-16) засвідчує високу варіабельність схожості, що коливається від 45 919 тис. шт./га до 61 226 тис. шт./га. Контрольні варіанти виявили найбільш виражене зрідження посівів, що відображено у значному зниженні щільності (наприклад, контроль S – до 35 715 тис. шт./га), що свідчить про низьку резистентність до абіотичних або біотичних чинників (рис. 3.10).

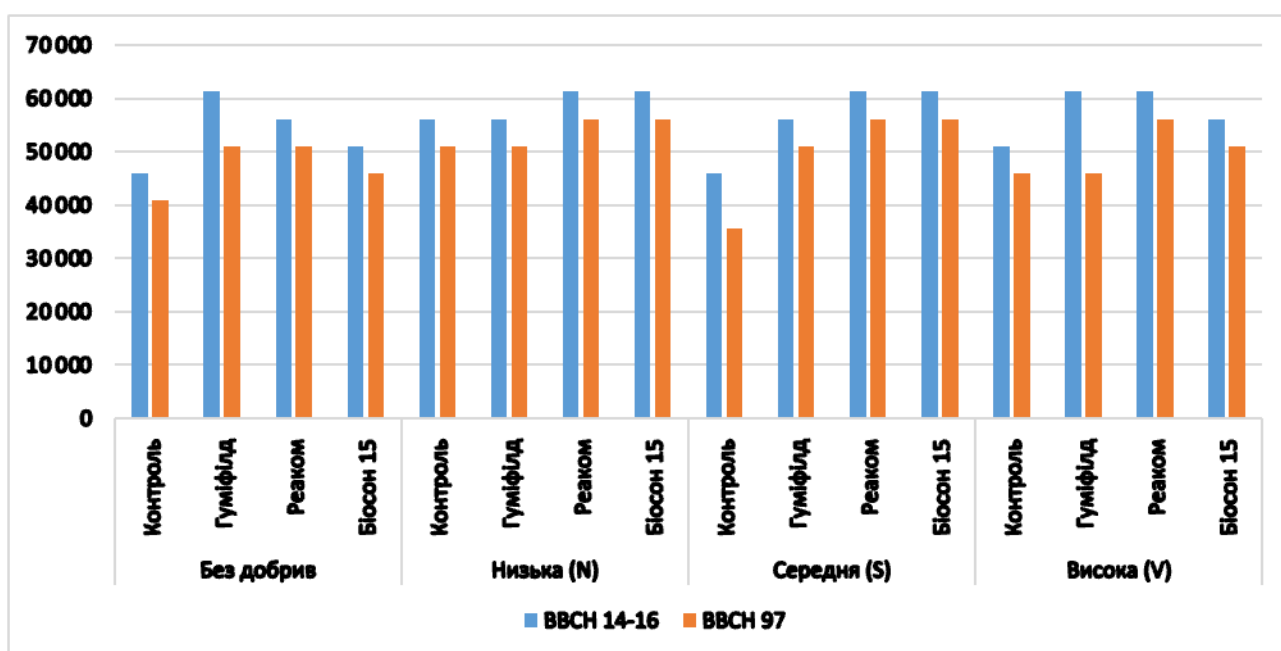


Рис. 3.10. Густота стояння, тис. шт/га соняшника за внесення біопрепаратів залежно від зони забезпечення.

Примітка. Зона забезпечення: Низька (N₂₅P₂₅K₃₅); Середня (N₅₅P₅₅K₈₀); Висока (N₈₀P₈₀K₁₂₀)

На противагу цьому, варіанти, оброблені біопрепаратами "Реаком", продемонстрували найвищий рівень збереженості популяції. Незважаючи на найвищу початкову густоту (63 000 тис. шт./га) у варіантах з внесенням препарату в зонах середнього і високого забезпечення, кінцева густота стояння

(61 226 тис. шт./га) залишилася на високому рівні. Це вказує на ефективну стабілізацію фізіологічного стану рослин та підвищення їхньої стійкості, спричинене дією препаратів. Аналогічно, варіанти з препаратом "Біосон 15" також підтвердили свою ефективність, що дозволило сформувати оптимальну кінцеву густоту. Таким чином, експериментальні дані підкреслюють позитивний вплив препаратів, зокрема "Реаком", на формування економічно доцільної кінцевої густоти стояння, що є критичним агрономічним чинником для максимізації врожайності.

Дослідження впливу досліджуваних препаратів залежно від зони забезпечення на вегетативні параметри соняшника (висота) показали, що на момент мікростадії розвитку соняшнику (ВВСН 14-16) препарати "Біосон 15" та "Гуміфілд" проявили найвищу стимулюючу активність щодо лінійного росту, підвищивши висоту рослин до 150–151 см та 144–145 см відповідно, порівняно з контролем (120 см) (табл 3.2).

Таблиця 3.2

Висота рослин, см (ВВСН 14-16)

Фактор А. Зона забезпечення	Фактор В. Підживлення мікродобривами	Висота рослини, см (ВВСН 14-16)
Позначення варіанта	Добриво	
Без добрив	Контроль	120
	Органік баланс	118
	Гуміфілд	121
	Біосон 15	120
Низька (N)	Органік баланс	134
	Гуміфілд	145
	Біосон 15	150
Середня (S)	Органік баланс	135
	Гуміфілд	145
	Біосон 15	151
Висока (V)	Органік баланс	134
	Гуміфілд	144
	Біосон 15	151

Примітка. Зона забезпечення: Низька (N₂₅P₂₅K₃₅); Середня (N₅₅P₅₅K₈₀); Висока (N₈₀P₈₀K₁₂₀)

Це вказує на їхню роль у посиленні гормональної регуляції та інтенсифікації вегетативного росту.

3.4 Дані дистанційного моніторингу з використанням вегетаційних індексів

Спектральний аналіз посівів соняшника на експериментальній ділянці, проведений на ключових етапах онтогенезу (ВВСН 14-18 та ВВСН 51-59), засвідчив значну просторову неоднорідність агроценозу та високу динаміку фітомаси протягом вегетаційного періоду (рис. 3.11 – 3.15).

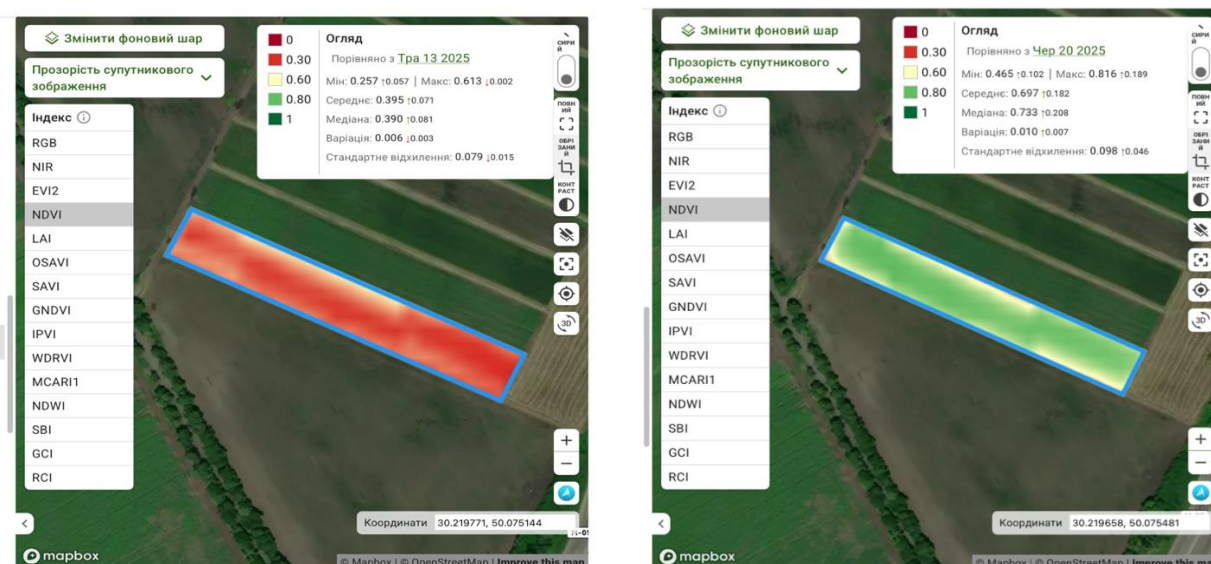


Рис. 3.11. Вегетаційний індекс NDVI соняшнику на стадії ВВСН 14-18 та на стадії ВВСН 51-59 відповідно

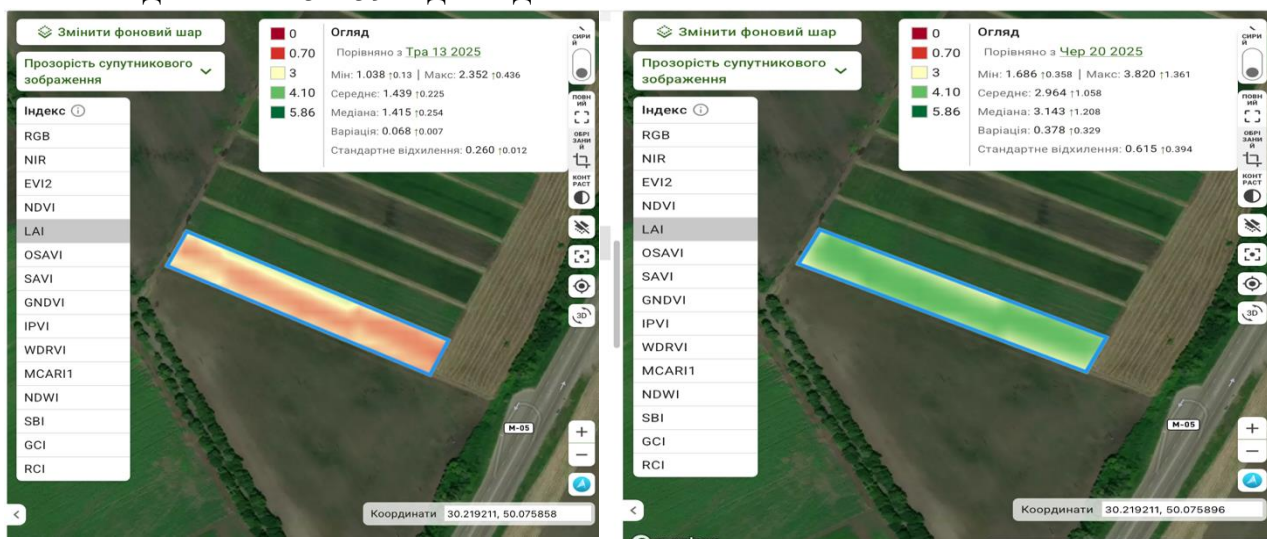


Рис. 3.12. Вегетаційний індекс LAI соняшнику на стадії ВВСН 14-18 та на стадії ВВСН 51-59 відповідно



Рис. 3.13. Вегетаційний індекс SAVI соняшнику на стадії ВВСН 14-18 та на стадії ВВСН 51-59 відповідно

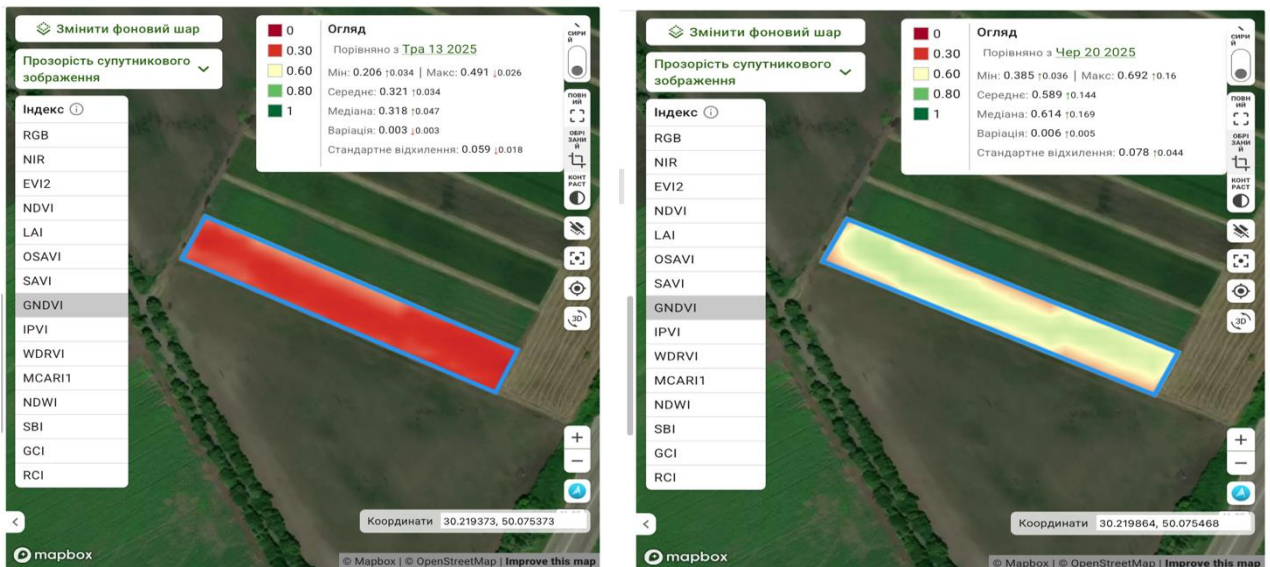


Рис. 3.14. Вегетаційний індекс GNDVI соняшнику на стадії ВВСН 14-18 та на стадії ВВСН 51-59 відповідно

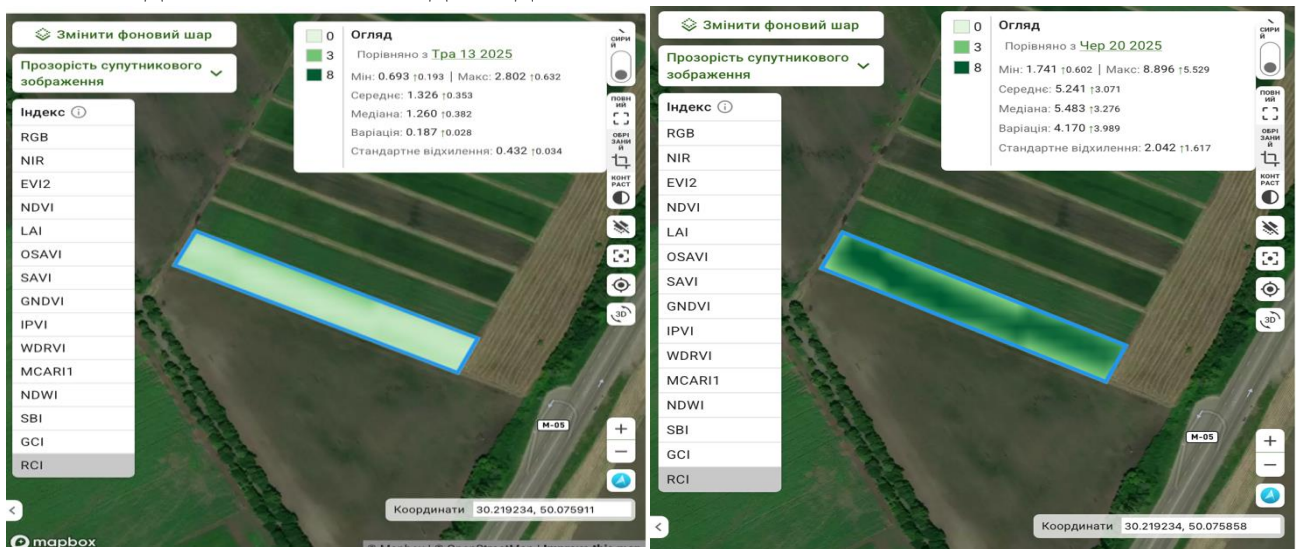


Рис. 3.15. Вегетаційний індекс RCI соняшнику на стадії ВВСН 14-18 та на стадії ВВСН 51-59 відповідно.

На ранніх стадіях індекси SAVI (грунтово коригований вегетаційний індекс) та NDVI (нормалізований диференційний вегетаційний індекс) демонструють низькі значення (медіана SAVI $\approx 0,318$ та медіана NDVI $\approx 0,395$), що є типовим для фази, коли рослини не повністю покривають ґрунт. На картах домінує червоний колір, який корелює з низькою біомасою та високим впливом ґрунту. Індекс LAI (індекс площі листкової поверхні) на цій фазі також є низьким (медіана $\approx 1,415$), але вже фіксує початок активного вегетативного росту, спричиненого, ймовірно, дією біопрепаратів ("Біосон", "Гуміфілд") та мінеральним живленням (зафіксоване збільшення висоти рослин до 151 см). Коефіцієнт варіації на цій фазі для більшості індексів залишається відносно низьким (наприклад, 0,055 для GNDVI), що вказує на помірну просторову різницю до змикання рядків.

Перехід до фази цвітіння супроводжується різким зростанням всіх індексів. Медіана NDVI підвищується до 0,816, SAVI до 0,733, а LAI досягає медіани 5,843. Це свідчить про максимальне накопичення фітомаси та досягнення піку фотосинтетичної активності.

На картах домінує темно-зелений колір, що відображає повне закриття міжрядь та формування оптимальної густоти. Індекс GNDVI (пов'язаний із вмістом азоту) також значно зростає (медіана $\approx 0,589$), підтверджуючи ефективне засвоєння елементів живлення на цій критичній стадії.

Зростання стандартного відхилення та варіації для індексів (наприклад, варіація SAVI 0,161 проти 0,052) підтверджує посилення просторової гетерогенності на полі, що є ключовою проблемою для диференційованого внесення добрив, як показано на карті зон управління. Динаміка вегетаційних індексів чітко відображає біологічні ефекти від застосованих агротехнологічних заходів. Різкий стрибок показників на фазі ВВСН 51-59 доводить, що оптимізація живлення та біопрепарати дозволили рослинам максимально реалізувати свій вегетативний потенціал, що стало необхідною передумовою для формування високої врожайності.



Рис. 3.16. Просторова гетерогенність експериментального поля

Ця карта є візуальним підтвердженням гетерогенності експериментального поля, що є ключовим фактором, який впливає на неоднорідність урожайності та ефективність агротехнічних заходів. Ділянка під номером 1 є з найменшим врожайним потенціалом або найбільш вираженим дефіцитом ключових поживних речовин, що вимагає найвищих компенсуючих норм добрив і біопрепаратів. Зона під номером 2 вимагає стандартних або оптимізованих норм внесення ресурсів для підтримки стійкої продуктивності.

Ділянка в центрі під номером 3 потребує застосування мінімальних норм добрив, щоб уникнути надлишкового вегетативного росту та ризику вилягання, а також контролюється дія біостимуляторів.

3.5 Показники структури урожаю соняшнику залежно від досліджуваних факторів

Представлені результати впливу досліджуваних чинників на діаметр кошика). відображають оцінку діаметра кошика соняшника на фазі біологічної стиглості (ВВСН 97). Експеримент охоплював низку біопрепаратів ("Органік баланс", "Хелп рост", "Гуміфілд", "Біосон", "Реаком"), які порівнювалися з контрольними варіантами (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Діаметр кошика, см (ВВСН 97)

Фактор А. Зона забезпечення	Фактор В. Підживлення мікродобривами	Діаметр кошика, см (ВВСН 97)
Позначення варіанта	Добриво	
Без добрив	Органік баланс	16
Низька (N)	Контроль	18
	Хелп рост	22
	Гуміфілд	12
Середня (S)	Контроль	16
	Органік баланс	16
	Хелп рост	17
	Реаком	16
Висока (V)	Органік баланс	17
	Хелп рост	17
	Біосон 15	18
	Реаком	13

Примітка. Зона забезпечення: Низька (N₂₅P₂₅K₃₅); Середня (N₅₅P₅₅K₈₀); Висока (N₈₀P₈₀K₁₂₀)

Аналіз виявив високу диференційованість впливу препаратів на морфометричний показник. Контрольні групи (16–18 см) та варіанти, з внесенням "Органік баланс" (16–17 см), демонстрували базові або нейтральні результати, які не перевищували природного потенціалу. Натомість, варіант "Хелп рост у зоні низького забезпечення показав максимальний діаметр кошика (22 см), що є суттєвим приростом (+4 см) порівняно з кращим контролем, підтверджуючи його потужну стимулюючу активність щодо розвитку генеративних органів. Варіант "Біосон 15 у зоні високого забезпечення також показав високий результат (18 см), відповідний максимальному контрольному значенню. Проте, застосування "Гуміфілд в зоні низького забезпечення (12 см) та "Реаком в зоні високого забезпечення (13 см) призвело до найменших діаметрів кошика.

Аналіз таблиці 3.4 засвідчує, що вплив добрив на масу 1000 насінин є критично залежним від рівня забезпечення ґрунту поживними речовинами (Фактор А). Найвищий показник маси - 62,2 г, досягнуто в умовах середнього

забезпечення при застосуванні препарату «Біосон 15». Ця комбінація забезпечила приріст на 7,2 г, або 13,1%, відносно контролю для цієї зони.

Таблиця 3.4

Вплив препаратів на масу 1000 насінин

Фактор А. Зона забезпечення	Фактор В. Підживлення мікродобривами	Маса 1000, г	Приріст до контролю, г	Приріст до контролю, %
Призначення варіанта	Добриво			
Без добрив	Без внесення	40,9	к	к
	Біосон 15	47,5	6,6	16,1
	Органік Баланс	46,0	5,1	12,5
	Реаком	42,5	1,6	3,9
	Хелп рост	47,5	6,6	16,1
	Гуміфілд	37,5	-	-
Низька (N)	Без внесення	52,5	к	к
	Біосон 15	40,0	-	-
	Органік Баланс	52,5	-	-
	Реаком	41,9	-	-
	Хелп рост	42,5	-	-
	Гуміфілд	35,8	-	-
Середня (S)	Без внесення	55,0	к	к
	Біосон 15	62,2	7,2	13,1
	Органік Баланс	42,5	-	-
	Реаком	53,3	-	-
	Хелп рост	50,0	-	-
	Гуміфілд	45,7	-	-
Висока (V)	Без внесення	41,0	к	к
	Біосон	50,0	9	22
	Органік Баланс	40,0	-	-
	Реаком	42,0	1	2,4
	Хелп рост	48,4	7,4	18
	Гуміфілд	45,0	4	9,8

Примітка. Зона забезпечення: Низька (N₂₅P₂₅K₃₅); Середня (N₅₅P₅₅K₈₀); Висока (N₈₀P₈₀K₁₂₀)

Препарат «Біосон 15» виявився найбільш ефективним стимулятором в цілому, демонструючи також максимальний відносний приріст (9,0 г або 22,0%) у зоні високого забезпечення. Це свідчить про його здатність ефективно нівелювати негативний вплив поживного дисбалансу, характерного для

контрольного варіанту високої зони. На противагу, препарати «Реакон» та «Органік Баланс» виявилися найменш ефективними, не забезпечивши значущого приросту в більшості варіантів досліду.

Таким чином, для максимальної реалізації потенціалу культури за показником маси 1000 насінин найбільш оптимальною є комбінація середнього рівня забезпечення (S) із застосуванням біостимулятора «Біосон 15».

3.6 Аналіз жирнокислотного складу олії соняшнику за допомогою газової хроматографії

Газохроматографічний аналіз якості олії соняшнику (контроль) підтвердив її високу біологічну цінність. Згідно з результатами, олія має лінолевий тип, оскільки лінолева кислота (C18:2) є домінуючою компонентою, вміст якої становить 68,626 %. Другою за вмістом є олеїнова кислота (C18:1cis9) (19,076 %). (рис.3.17).

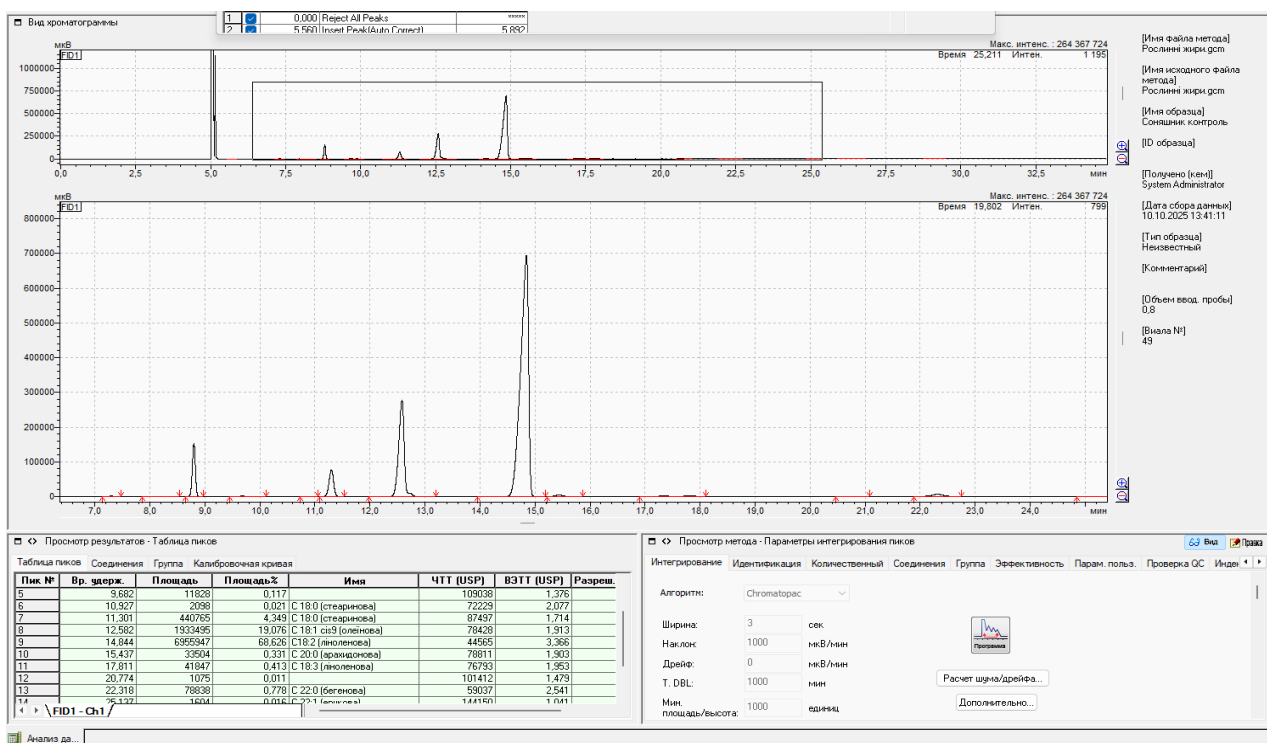


Рис. 3.17. Хроматограма зразка олії соняшнику, контроль.

Сумарний вміст цих двох ненасичених кислот формує переважну частину жирнокислотного профілю. Серед насичених кислот найбільше представлені пальмітинова (C16:0) (5,823 %) та стеаринова (C18:0) (4,349 %). Такий профіль підтверджує, що олія є цінним джерелом ненасичених жирних кислот. На рисунку 3.18 представлена хроматограма зразка олії соняшнику, отриманої у варіанті із застосуванням біопрепарату "Гуміфілд", а також табличні результати кількісного аналізу.

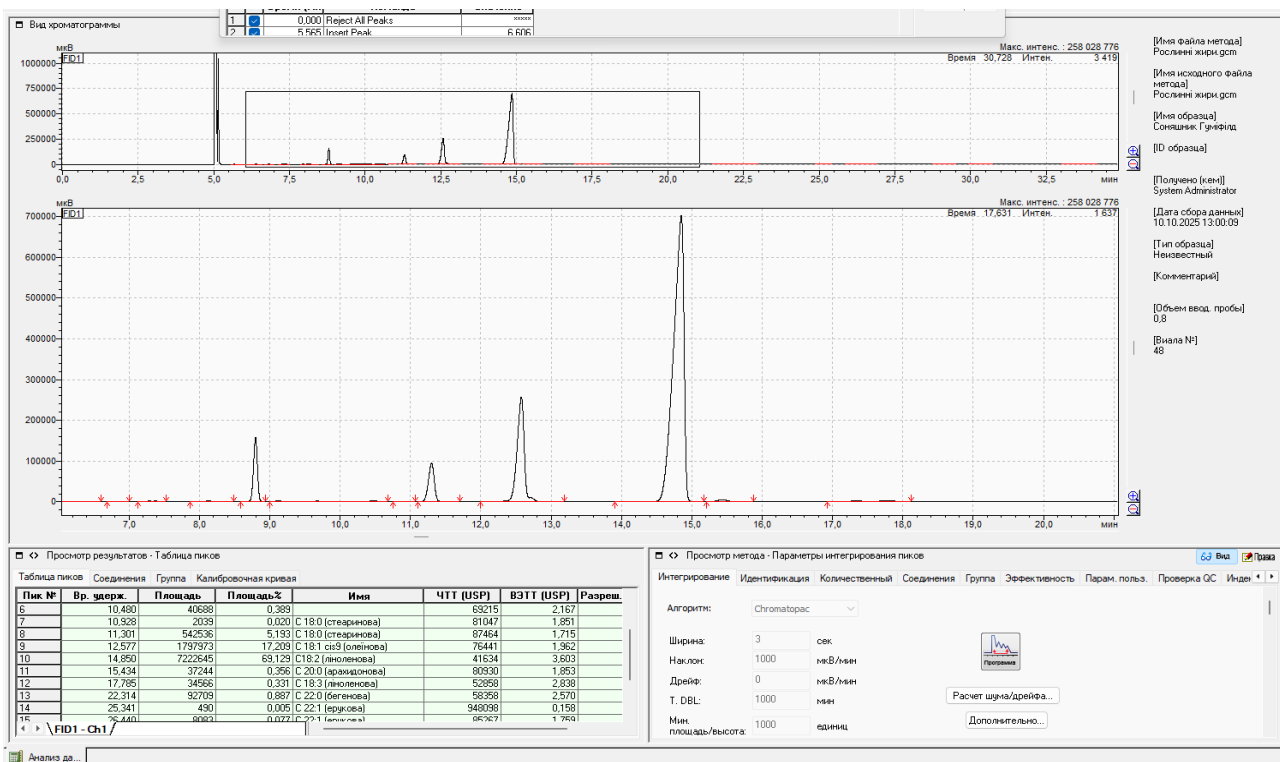


Рис. 3.18. Хроматограма зразка соняшнику, Гуміфілд.

Хроматограма візуалізує розділення жирних кислот. Аналіз засвідчив, що застосування біопрепарату не змінило лінолевий тип олії. Лінолева кислота (C18:2) є домінуючою поліненасиченою кислотою з найвищим вмістом (69,129 %), що є дещо вищим за показники контрольного варіанта. Водночас, вміст другої ключової мононенасиченої кислоти, олеїнової (C18:1cis9), знизився і становить 17,209 %. Щодо насичених жирних кислот, вміст стеаринової кислоти (C18:0) суттєво зріс до 5,193 %, тоді як вміст пальмітинової кислоти (C16:0) практично не змінився і становить 5,8 %. Таким чином, результати

газохроматографічного аналізу свідчать про те, що біопрепарат "Гуміфілд" впливає на метаболізм жирних кислот, забезпечуючи невелике підвищення вмісту C18:2 за рахунок зниження C18:1 та зростання C18:0.

Газохроматографічний аналіз олії соняшнику засвідчив, що і в контрольному варіанті, і після застосування біопрепарату "Гуміфілд", олія зберігає свій лінолевий тип (табл. 3.5)

Таблиця 3.5

Жирнокислотний склад олії соняшнику

Соняшник	Вміст, %	
	контроль	Гуміфілд
C14:0	0,063	0,113
C 16:0	5,823	5,8
C 18:0	4,349	5,193
C 18:1 cis9	19,076	17,209
C18:2	68,626	69,129
C 18:3	0,413	0,331
C 22:1	0,016	0,005
Неідентифіковані к-ти	1,637	2,221

Проте, застосування "Гуміфілду" спричинило метаболічний зсув, змінивши баланс основних жирних кислот. Вміст лінолевої кислоти (C18:2) у варіанті "Гуміфілд" незначно підвищився (69,129%) порівняно з контролем (68,626%). Водночас, вміст олеїнової кислоти (C18:1) знизився до 17,209% у "Гуміфілді" (у контролі до 19,076 %). Серед насичених кислот, вміст стеаринової кислоти (C18:0) зріс до 5,193% у "Гуміфілді" (у контролі до 4,349%). Таким чином, біопрепарат "Гуміфілд" викликав перерозподіл жирних кислот, забезпечуючи зростання концентрації C18:2 та C18:0 за рахунок C18:1.

Цей перерозподіл свідчить про те, що "Гуміфілд" впливає на активність ферментів (десатураз), які відповідають за перетворення насичених кислот у ненасичені. Це добре, якщо пріоритетом є незначне підвищення біологічної

цінності (за рахунок С18:2), але негативно, якщо пріоритетом є стабільність при зберіганні (за рахунок С18:1).

3.7 Аналіз насіння

Результати аналізу ключових якісних показників насіння соняшника згідно ДСТУ 7011:2009), вирощеного за різних варіантів застосування біопрепаратів. Експериментальна схема включає контрольну групу (Контроль А) та шість дослідних варіантів із застосуванням трьох різних біопрепаратів – "Гуміфілд", "Біосон 15" та "Реаком", у зонах низької і середньої забезпеченості (табл. 3.6).

Таблиця 3.6

Показники якості насіння соняшнику залежно від досліджуваних чинників

Назва	Без внесення	Низька (N)			Середня (S)		
		Гуміфілд	Біосон 15	Реаком	Гуміфілд	Біосон 15	Реаком
Натура, г/л	332	350	384	370	420	410	446
Вологість, %	5,2	5,4	6,4	6,6	6,6	7,3	6,5
Олійність на суху, %	48,0	48,0	49,0	51,00	48,5	53,2	52
Маса 1000, г	40,90	35,80	40,00	41,9	45,70	62,20	53,30
Сміттєва домішка, %	2,6	3,00	2,4	0,7	1,40	1,20	0,7
Зернова домішка, %	0,60	0,30	0,60	0,50	1,00	1,00	0,80

Примітка. Зона забезпечення: Низька (N₂₅P₂₅K₃₅); Середня (N₅₅P₅₅K₈₀); Висока (N₈₀P₈₀K₁₂₀)

Щодо натури, то спостерігається чітка позитивна динаміка. Найвище значення натури зафіксовано у варіанті "Реаком S" (446 г/л), що значно перевищує контрольний показник (332 г/л). Це вказує на кращу наповненість і якість зерна. Найбільш суттєве зростання олійності продемонстрував варіант "Біосон 15 S" (53,2%), тоді як контрольне значення становило 48,0%. Також високі показники отримано у варіанта "Реаком S" (52%) та "Реаком N" (51%), що підтверджує ефективність цих препаратів у підвищенні економічно значущої ознаки.

Показник маси 1000 насінин (г) є індикатором наповненості зерна та потенційної енергетичної цінності. Найвище значення отримано у варіанті

"Біосон 15 S" (62,20 г). Це майже на 21,3 г більше, ніж у контролі (40,90 г), що свідчить про дуже позитивний вплив даного препарату на формування генеративних органів. Варіанти "Реаком S" (53,30 г) та "Гуміфілд S" (45,70 г) також продемонстрували значне збільшення маси порівняно з контролем. Вологість (%) на момент аналізу коливається в діапазоні від 5,2% (Без внесення) до 7,3% ("Біосон 15 S"), що загалом є прийнятним для зберігання.

Сміттєва та зернова домішки (%) характеризують чистоту врожаю. Найкращий результат за сміттєвою домішкою показав варіант "Реаком N" та "Реаком S" (0,7%), що є суттєво нижчим, ніж у контролі (2,6%). За показником зернової домішки, варіанти "Гуміфілд N" (0,30%) та "Реаком N" (0,50%) показали кращу чистоту, ніж контроль (0,60%), хоча деякі інші варіанти (S для "Гуміфілд" та "Біосон 15") показали незначне зростання домішок (1,00% і 0,80% відповідно).

Отримані дані достовірно свідчать про позитивний вплив застосованих біопрепаратів на якість насіння соняшника. Варіанти, оброблені "Біосон 15 S" та "Реаком S", демонструють найкращі комплексні результати, забезпечуючи найвищу олійність, масу 1000 насінин та натуру, при одночасному зниженні показників засміченості. Це підтверджує доцільність використання біопрепаратів як інструменту для оптимізації технології вирощування та підвищення товарної якості продукції.

3.8 Урожайність насіння соняшнику та структура формування врожаю залежно від оптимізації живлення

Показники урожайності культури є інтегральним показником, який відображає результати дослідження ефективності застосування мікродобрив та стимуляторів росту в умовах різної забезпеченості ґрунту.

Аналіз контрольних варіантів («Без внесення») засвідчує, що при переході від варіанту «Без добрив» (2,33 т/га) до низького (N) рівня забезпечення (2,79 т/га) та до середнього (S) рівня (3,19 т/га) спостерігається очікуване зростання урожайності. Однак, на фоні високого (V) забезпечення (3,39 т/га) приріст відносно середнього рівня сповільнюється.

Таблиця 3.7

Урожайність насіння соняшника залежно від оптимізації живлення та зміни препаратів, т/га

Фактор А. Зона забезпечення		Фактор В. Підживлення мікродобривами	Урожайність, т/га	Приріст до контролю,%
Позначення варіанта	Добриво	Позначення варіанта		
Без добрив	Без добрив	Без внесення (вода)	2,33	к
		Органік баланс (0,5 л/га)	2,69	15,5
		Хелпрост Універсальний КС- (1,0 л/га)	2,64	13,3
		Біосон (2,0 л/га)	2,84	21,9
		Гуміфілд (2,0 л/га)	2,13	-8,6
		Реаком (1,0 л/га)	2,76	18,5
Низька (N)	N₂₅P₂₅K₃₅	Без внесення (вода)	2,79	к
		Органік баланс (0,5 л/га)	3,81	36,6
		Хелпрост Універсальний КС- (1,0 л/га)	3,52	26,2
		Біосон (2,0 л/га)	3,96	41,9
		Гуміфілд (2,0 л/га)	3,37	20,8
		Реаком (1,0 л/га)	4,11	47,3
Середня (S)	N₅₅P₅₅K₈₀	Без внесення (вода)	3,19	к
		Органік баланс (0,5 л/га)	3,35	5,0
		Хелпрост Універсальний КС- (1,0 л/га)	3,24	1,6
		Біосон (2,0 л/га)	3,86	21,0
		Гуміфілд (2,0 л/га)	3,64	14,1
		Реаком (1,0 л/га)	3,70	16,0
Висока (V)	N₈₀P₈₀K₁₂₀	Без внесення (вода)	3,39	к
		Органік баланс (0,5 л/га)	3,81	12,4
		Хелпрост Універсальний КС- (1,0 л/га)	3,78	11,5
		Біосон (2,0 л/га)	4,01	18,3
		Гуміфілд (2,0 л/га)	3,68	8,6
		Реаком (1,0 л/га)	3,76	10,9
НіР _{0,05}			0,21	

Ключові прирости урожайності та найвищі абсолютні показники зафіксовано на фоні низького (N) забезпечення. Найвищу урожайність у всьому досліді - 4,11 т/га отримано саме в зоні низького живлення при використанні препарату «Реаком» (1,0 л/га), що забезпечило рекордний приріст на рівні 47,3%. Другим за абсолютною урожайністю у цій зоні є препарат «Біосон 15 (2,0 л/га)» з показником 3,96 т/га та приростом 41,9%.

В умовах середнього (S) та високого (V) забезпечення високу ефективність також підтверджує «Біосон 15 (2,0 л/га)», забезпечивши урожайність 3,86 т/га (приріст 21,0%) у зоні S та 4,01 т/га (приріст 18,3%) у зоні V. Це підкреслює його здатність ефективно працювати у широкому діапазоні основного живлення. На противагу, застосування препарату «Реаком» без добрив призвело до зниження урожайності до 2,13 т/га (втрата -8,6%), що вказує на його негативний вплив за відсутності базового живлення.

Таким чином, найбільш перспективними препаратами для підвищення урожайності є «Реаком» (в умовах дефіциту) та «Біосон 15», причому максимальна віддача від застосування добрив досягається саме в умовах недостатнього основного живлення.

3.9 Дисперсійний аналіз та коефіцієнти кореляції

Проведений дисперсійний аналіз засвідчив високий коефіцієнт варіації урожайності ($V=24,59\%$), що є типовим для польових досліджень на гетерогенних ґрунтах. Це призвело до того, що розрахункове значення F-критерію (1,739) не перевищило критичного значення (3,329), отже, різниця в середній урожайності між варіантами є статистично недостовірною при $\alpha=0,05$. Незважаючи на це, аналіз тенденцій свідчить про фактичну перевагу варіантів "Реаком" ($\bar{X}=4,09\text{т/га}$) та "Біосон 15" ($\bar{X}=3,98\text{т/га}$) над контролем ($\bar{X}=3,12\text{т/га}$). При цьому, біопрепарат "Біосон 15" одночасно з формуванням тенденції до вищого врожаю, достовірно підвищив якісні характеристики насіння,

забезпечивши максимальну олійність та масу 1000 насінин, що підтверджує його комплексну ефективність.

Таблиця 3.8

Коефіцієнти кореляції досліджуваних показників

Показники	Маса 1000 насінин, г	Висота рослин, см	Густота стояння, шт/га	Діаметр кошика, см
Висота рослин, см	0,270	-	-	-
Густота стояння, шт/га	-0,55	0,022	-	-
Діаметр кошика, см	0,110	0,435	-0,237	-
Урожайність т/га	0,225	0,122	0,023	0,060

Проведений кореляційний аналіз продемонстрував, що вплив біопрепаратів суттєво змінив традиційні кореляційні зв'язки між ознаками соняшника. Це дозволяє стверджувати, що препарати оптимізують розподіл асимілянтів та посилюють реакцію рослин на лімітуючі фактори, роблячи врожайність менш залежною від таких простих морфологічних ознак, як діаметр кошика чи висота.

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ СОНЯШНИКУ

4.1 Економічна ефективність

Дані, представлені в таблиці 4.1, відображають ключові економічні показники ефективності вирощування соняшнику в залежності від рівня забезпечення (Фактор А) та застосування біопрепаратів (Фактор В), що дозволяє оцінити їхній вплив на собівартість, чистий прибуток та рівень рентабельності.

Аналіз показників урожайності та вартості реалізованої продукції свідчить, що найбільшу економічну ефективність досягнуто в зоні низького (N) забезпечення при застосуванні препаратів «Біосон 15» та «Реаком». Зокрема, варіант із «Біосон 15» забезпечив найвищий вихід вартості реалізованої продукції на 1 га 99,36 тис. грн (при урожайності 3,96 т/га), тоді як «Реаком» забезпечив 96,12 тис. грн (при урожайності 3,84 т/га). У зоні високого (V) забезпечення препарат «Біосон 15» також продемонстрував лідерство за цим показником 100,61 тис. грн при максимальній урожайності 4,01 т/га, що стало найвищим абсолютним показником у всьому досліді.

Оцінка економічної ефективності за показником умовний чистий прибуток, тис. грн/га корелює з вартістю продукції. Максимальний чистий прибуток зафіксовано в зоні високого (V) забезпечення при застосуванні «Біосон 15» 83,37 тис. грн/га, що підтверджує його високу економічну доцільність на інтенсивному фоні живлення. Другий за величиною чистий прибуток 81,88 тис. грн/га досягнуто в зоні низького (N) забезпечення, що знову вказує на ефективність препарату «Біосон 15».

Ключовим показником економічної ефективності є рівень рентабельності. Найстійкіший та найвищий рівень рентабельності спостерігається у варіантах із препаратом «Біосон 15» у зоні низького забезпечення (86,13%) та в зоні високого забезпечення (85,37%).

Таблиця 4.1

Економічна оцінка елементів технології вирощування соняшнику
залежно від біопрепаратів

Позначення варіанта	назва препарату	посієна площа, га	урожайність, т/га	ціна реалізації 1 т без ПДВ, тис.грн.	вартість валової продукції, тис.грн./га	виробничі витрати, тис.грн./Га	собівартість 1 т насіння, тис.грн.	умовний чистий прибуток, тис.грн.	рівень рентабельності, %
Без добрив	Без внесення	1	2,33	25,09	58,46	11,5	4,94	46,95	80,31
	Біосон 15	1	2,84	25,09	71,26	11,5	4,05	59,76	83,86
	Органік баланс	1	2,69	25,09	67,49	11,5	4,28	55,98	82,95
	Реаком	1	2,76	25,09	69,25	11,5	4,17	57,74	83,38
	Хелп рост	1	2,64	25,09	66,24	11,5	4,36	54,73	82,62
	Гуміфілд	1	2,13	25,09	53,44	11,5	5,4	41,94	78,48
Низька (N)	Без внесення	1	2,79	25,09	70	13,8	4,95	56,19	80,27
	Біосон 15	1	3,96	25,09	99,36	13,8	3,48	85,58	86,13
	Органік баланс	1	3,81	25,09	95,59	13,8	3,62	81,8	85,57
	Реаком	1	4,11	25,09	103,12	13,8	3,36	89,31	86,61
	Хелп рост	1	3,52	25,09	88,32	13,8	3,92	74,52	84,38
	Гуміфілд	1	3,37	25,09	84,55	13,8	4,09	70,77	83,70
Середня (S)	Без внесення	1	3,19	25,09	80,04	15,52	4,87	64,5	80,58
	Біосон 15	1	3,86	25,09	96,85	15,52	4,02	81,33	83,98
	Органік баланс	1	3,35	25,09	84,05	15,52	4,63	68,54	81,55
	Реаком	1	3,7	25,09	92,83	15,52	4,19	77,33	83,30
	Хелп рост	1	3,24	25,09	81,29	15,52	4,79	65,77	80,91
	Гуміфілд	1	3,64	25,09	91,33	15,52	4,26	75,82	83,02
Висока (V)	Без внесення	1	3,39	25,09	85,06	17,25	5,09	67,8	79,71
	Біосон 15	1	4,01	25,09	100,61	17,25	4,3	83,37	82,86
	Органік баланс	1	3,81	25,09	95,59	17,25	4,53	78,33	81,94
	Реаком	1	3,76	25,09	94,34	17,25	4,59	77,08	81,70
	Хелп рост	1	3,78	25,09	94,84	17,25	4,56	77,6	81,82
	Гуміфілд	1	3,68	25,09	92,33	17,25	4,69	75,07	81,31

Примітка. Зона забезпечення: Низька (N₂₅P₂₅K₃₅); Середня (N₅₅P₅₅K₈₀); Висока (N₈₀P₈₀K₁₂₀)

Препарат «Реаком» також демонструє високу рентабельність у зоні низького забезпечення (86,61%), що є найвищим показником рентабельності в

досліді. Найменш вигідним з економічної точки зору виявився варіант «Гуміфілд» без добрив (рентабельність 78,48%).

Таким чином, економічна оцінка підтвердила, що застосування біопрепаратів, зокрема «Біосон 15» та «Реаком», є високорентабельним заходом, який забезпечує максимальний умовний чистий прибуток та рівень рентабельності в умовах як недостатнього, так і високого забезпечення культури елементами живлення.

ВИСНОВКИ

На основі комплексної оцінки впливу мікродобрив і стимуляторів росту на морфологічні параметри, біометричні показники, продуктивність, якість насіння та економічну ефективність вирощування соняшнику в умовах різної забезпеченості елементами живлення (низька, середня та висока зони), встановлено такі закономірності:

1. Дослідження підтвердили, що внесення мінеральних добрив істотно змінює агрохімічні властивості чорнозему вилугованого, формуючи більш сприятливий режим живлення для соняшника порівняно з контролем. Найбільш збалансоване співвідношення доступних форм азоту, фосфору та калію забезпечувала висока зона забезпечення NPK, яка зберігала оптимальні залишкові запаси елементів живлення до завершення вегетації. Це свідчить про її ефективність як для формування продуктивності культури, так і для підтримання родючості ґрунту.

2. Застосування біопрепаратів зумовило виразний позитивний вплив на формування як вегетативних, так і генеративних органів соняшнику. Препарат «Біосон 15» сприяв інтенсивнішому видовженню стебла, забезпечивши максимальну висоту рослин у зоні середнього рівня забезпечення (151 см), тоді як «Хелп рост» проявив специфічну дію, стимулюючи формування найбільшого діаметра кошика (22 см у зоні низького рівня забезпечення). Стабільність густоти стояння рослин у варіантах із застосуванням біопрепаратів підтверджує їх здатність підвищувати стійкість рослин до стресових чинників та забезпечувати кращу реалізацію продукційного потенціалу посіву.

3. Найвищий відносний приріст урожайності було зафіксовано у варіантах низької зони забезпечення, що свідчить про ефективність біопрепаратів як компенсаторних засобів за дефіциту макроелементів. Зокрема, застосування препарату «Реаком» забезпечило максимальний приріст урожайності - 47,3% відносно контролю, що підкреслює значний адаптогенний потенціал цього засобу в умовах ресурсного обмеження.

4. Абсолютні максимуми урожайності та маси 1000 насінин досягнуті за оптимізованого фону живлення. Найвища урожайність - 4,01 т/га - відмічена у зоні високого рівня забезпечення при застосуванні «Біосон 15», тоді як найвищий показник маси 1000 насінин (62,20 г) отримано у зоні середнього забезпечення під дією того ж препарату. Це дає підстави позиціонувати «Біосон 15» як універсальний рослинний стимулятор, здатний забезпечувати стабільно високу продуктивність у широкому діапазоні умов мінерального живлення.

5. Внесення досліджуваних препаратів сприяло поліпшенню якісних характеристик насінневої продукції. Використання «Біосон 15» забезпечило суттєве зростання олійності на суху речовину (до 53,2% у зоні середнього забезпечення). Застосування препарату «Гуміфілд» супроводжувалося тенденцією до підвищення вмісту лінолевої кислоти (C18:2), що може вказувати на участь гумінових сполук у регуляції ліпідного обміну рослин.

6. Проведений кореляційний аналіз виявив низку статистично значущих зв'язків. Встановлено середній негативний кореляційний зв'язок між густотою стояння рослин та масою 1000 насінин ($r = -0,55$), що відображає конкурентні взаємовідносини у посівах та негативний вплив надмірної густоти на формування насінневої маси. Виявлено позитивний середній зв'язок між висотою рослин і діаметром кошика ($r = 0,435$), а також слабкий позитивний зв'язок між масою 1000 насінин та урожайністю ($r = 0,225$), що підкреслює багатофакторність формування продуктивності та комплексний характер дії біопрепаратів на агробіологічні показники.

7. Економічний аналіз підтвердив високу доцільність застосування біопрепаратів у технології вирощування соняшнику. Найвищий рівень рентабельності отримано у зоні низької забезпеченості при застосуванні препарату «Реаком» (86,61%), тоді як максимальний умовний чистий прибуток (83,37 тис. грн/га) забезпечило застосування «Біосон 15» у зоні високого забезпечення. Це засвідчує, що економічні переваги залежать від поєднання рівня мінерального живлення та специфіки дії препарату: одні засоби є більш ефективними за низьких норм добрив, тоді як інші проявляють максимальну віддачу в умовах інтенсивного живлення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гаврилюк, А. (2025, 9 червня). Посівна кампанія в Україні фактично завершена. *AgroTimes*. <https://agrotimes.ua/agronomiya/posivna-kampaniya-v-ukrayini-faktychno-zavershena/>.
2. Медведєв, В. В. (2015). Просторова неоднорідність ґрунтів та системи землеробства. *Agricultural Science and Practice*, 2(1), 50–56. https://www.agrisp.com/pdf/2015_01_06.pdf.
3. Дацько, Л. (2018). Просторова неоднорідність властивостей ґрунтів. *Інтегро*. <https://integro.co.ua/prostorova-neodnorodnist-vlastyvostej-gruntiv/>.
4. Гаськевич, О. (2019). Неоднорідність ґрунтового покриву агроландшафтів Пасмового Побужжя. *Вісник Львівського університету. Серія географічна*, (53), 97–103. <https://doi.org/10.30970/vgg.2019.53.10659>.
5. Elkateb, T., Chalaturnyk, R., & Robertson, P. K. (2003). Огляд неоднорідності ґрунтів: кількісна оцінка та вплив на польові геотехнічні проблеми [Soil heterogeneity review: Quantitative assessment and impact on field geotechnical issues]. *Canadian Geotechnical Journal*, 40(1), 1–15. <https://doi.org/10.1139/T02-090>.
6. Li, G., Li, X., Jin, T., Jiang, M., Shi, P., & Wei, G. (2025). Spatial heterogeneity in soil microbial communities impacts their suitability as bioindicators for evaluating productivity in agricultural practices. *Microorganisms*, 13(5), Article 1160. <https://doi.org/10.3390/microorganisms13051160>.
7. Bolokhovskiy, V., Bolokhovska, V., Khomenko, T., Datsko, A., & Litvinova, O. (2024). Optimization of plant nutrition under the influence of biopreparations in integrated sunflower cultivation technologies. *Plant Growing and Soil Science*, 15(4), 64–75. <https://doi.org/10.31548/plant4.2024.64>.
8. Natalio, A. I. M., Back, M. A., Richards, A., & Jeffery, S. (2024). Field-scale heterogeneity overrides management impacts following conversion to no-till within an arable system. *Applied Soil Ecology*, 193, Article 105104. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.105104>.

9. Wei, X., Xie, B., Wan, C., Song, R., Zhong, W., Xin, S., & Song, K. (2024). Enhancing soil health and plant growth through microbial fertilizers: Mechanisms, benefits, and sustainable agricultural practices. *Agronomy*, 14(3), 609. <https://doi.org/10.3390/agronomy14030609>.
10. Jin, J., & Jiang, C. (2002). Spatial variability of soil nutrients and site-specific nutrient management in the P.R. China. *Computers and Electronics in Agriculture*, 36(2–3), 165–172. [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(02\)00099-6](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(02)00099-6).
11. European Commission. (2017). *Background briefing: Nutrient management plans*. European Network for Rural Development (ENRD). https://ec.europa.eu/enrd/sites/default/files/tg2_water-soil_briefing_nutrients-management.pdf.
12. Домарацький, Є. О., & Козлова, О. П. (2018). Вплив біологічних фунгіцидів на рівень ураження гібридів соняшника патогенною мікрофлорою. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*, (29). https://journals.pdu.khmelnitskiy.ua/index.php/podilian_bulletin/article/view/173.
13. Циганський, В. І. (2021). Оптимізація системи удобрення соняшнику на основі використання сучасних мікробіологічних добрив. *Сільське господарство та лісівництво*, (1), 12–20. <http://forestry.vsau.org/storage/articles/January2021/816eGfGbpI10yVHdwebA.pdf>.
14. Calvo, P., Nelson, L., & Клоерпер, J. W. (2014). Сільськогосподарське використання біостимуляторів рослин. *Plant and Soil*, 383(1–2), 3–41. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>.
15. Домарацький, Є. О. (2018). Вплив рістрегулюючих препаратів та мінеральних добрив на поживний режим соняшника. *Наукові доповіді НУБіП України*, (1)71. <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/10027>.
16. Volkogon, V. V. (2018). Agricultural microbiology in Ukraine: Achievements, problems, prospects. *Bulletin of Agricultural Science*, 11, 20–27. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201811-03>.

17. Kovalenko, O., Neroda, R., & Bahliuk, U. (2022). Sunflower cultivation: Foliar top-dressing with mikrofertilizers. *Grail of Science*, (16), 127–132. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.17.06.2022.022>.
18. Crista, F., Radulov, I., Imbrea, F., Manea, D. N., Boldea, M., Gergen, I., Ienciu, A. A., & Bănăţean Dunea, I. (2023). The study of the impact of complex foliar fertilization on the yield and quality of sunflower seeds (*Helianthus annuus* L.) by principal component analysis. *Agronomy*, 13(8), 2074. <https://doi.org/10.3390/agronomy13082074>.
19. Giannini, V., Maucieri, C., Vameralli, T., Zanin, G., Schiavon, S., Pettenella, D. M., Bona, S., & Borin, M. (2022). Sunflower: From Cortuso's description (1585) to current agronomy, uses and perspectives. *Agriculture*, 12(12), 1978. <https://doi.org/10.3390/agriculture12121978>.
20. Ткалич, В. І. (2017). Ефективність використання мікродобрив та регуляторів росту рослин в посівах соняшнику Північного Степу. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН*, (24), 208–215. https://bulletin.imk.zp.ua/pdf/2017/24/Tkalych_24.pdf.
21. Adeleke, B. S., & Babalola, O. O. (2021). Соняшник олійний (*Helianthus annuus*) як джерело їжі: поживні та оздоровчі властивості. *Food Science & Nutrition*, 9(4), 2103–2113. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1783>.
22. Гамаюнова, В. В., & Кудріна, В. С. (2018). Водоспоживання соняшнику залежно від застосування біопрепаратів за вирощування в умовах Південного Степу України. *Наукові горизонти*, 21(7–8), 27–35. [https://sciencehorizon.com.ua/web/uploads/pdf/№7-8\(70\)_27-35.pdf](https://sciencehorizon.com.ua/web/uploads/pdf/№7-8(70)_27-35.pdf).
23. Карпенко, А. (2019, 24 серпня). Географія, врожайність, площі: як змінилось вирощування топових культур за роки Незалежності? *Agravery.com*. <https://agravery.com/uk/posts/show/geografia-vrozajnist-plosi-ak-zminilos-virosuvanna-topovih-kultur-za-roki-nezaleznosti>.
24. Коваленко, А., & Коваленко, О. (2024). Оптимізація живлення соняшнику на Півдні України. *Агробізнес сьогодні*. <https://agro->

business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/21542-optymizatsiia-zhyvlennia-soniashnyku-na-pivdni-ukrainy.html.

25. Гамаюнова, В. В., Коваленко, О. А., Хоменко, Л. Г., & Гирля, Л. М. (2020). Урожайність соняшнику за впливу мікродобрив і біопрепаратів в умовах Південного Степу України. *Наукові праці Миколаївського національного аграрного університету. Серія «Агронімія», (26–29), 26–29.* <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/9765/1/26-29.pdf>.

26. Crista, F., Radulov, I., Imbrea, F., Manea, D. N., Boldea, M., Gergen, I., Ienciu, A. A., & Bănăţean Dunea, I. (2023). Efficiency of nitrogen use in sunflower. *Plants*, 11(18), 2390. <https://doi.org/10.3390/plants11182390>.

27. Jyothi, P., Theerthala, A., Murthy, I. Y. L. N., & Hussain, S. A. (2018). Effect of boron and potassium on performance of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Applied and Natural Science*, 10(2), 535–540. <https://doi.org/10.31018/jans.v10i2.1761>.

28. Ariraman, R., Paul, A. I., Naik, S. N. A., Anandan, P., & Arun, A. (2020). Effect of boron application on growth, yield parameters, yield, quality, nutrient uptake and economics of sunflower. *International Journal of Chemical Studies*, 8(6), 512–516. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i6h.10825>.

29. Ljubotina, M. K., & Cahill, J. F. (2019). Effects of neighbour location and nutrient distributions on root foraging behaviour of the common sunflower. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 286(1911), 20190955. <https://doi.org/10.1098/rspb.2019.0955>.

30. Цицюра, Я. В., & Дідур, І. М. (2021). Оптимізація удобрення соняшника за рахунок застосування біологічних препаратів в умовах Лісостепу Правобережного. *Сільське господарство та лісівництво*, (4), 36–51. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2021-4-4>

Режим доступу: <http://forestry.vsau.org/uk/particles/optimizaciya-udobrennya-sonyashnika-za-rahamok-zastosuvannya-biologichnih-preparativ-v-umovah-lisostepu-pravoberezhnogo>.

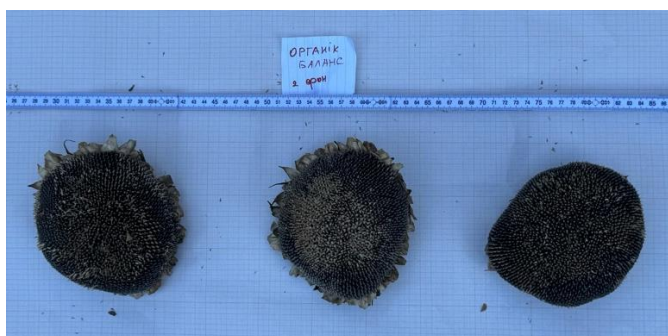
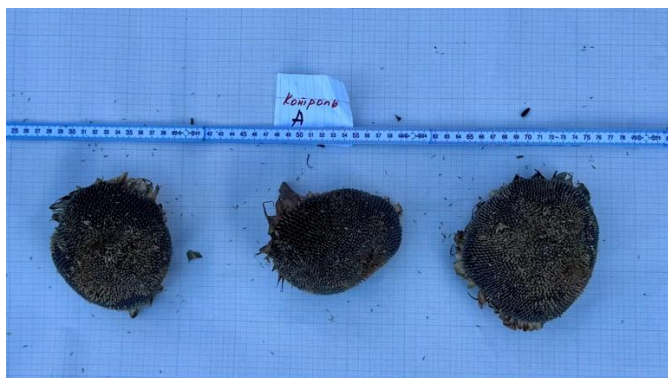
31. Siddique, M. I., Ali, S., & Khan, M. A. (2022). In vitro screening of sunflower associated endophytic bacteria with plant growth-promoting traits. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 903114. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.903114>.
32. Агрономіка Байєр. (2020). *АгроАрена Схід. Спеціальний випуск*. https://www.cropscience.bayer.ua//media/Bayer%20CropScience/Ukraine/Publications/Agronomika/WEB%20Agronomica_east.pdf.
33. Рожков, А. О., & Калинов, О. О. (2024). Вплив передпосівної обробки насіння та листових підживлень на формування повітряно-сухої маси рослин соняшнику. *Рослинництво, селекція і насінництво, плодоовочівництво і зберігання*, (1), 6–16. <https://repo.btu.kharkiv.ua/server/api/core/bitstreams/e4dcd966-7bd3-4c16-ae7e-353f3c025f20/content>.
34. Panfilova, A., Drobitko, A., Markova, N., & Domaratskiy, Ye. (2024). Influence of biological products on the productivity of high oleic sunflower hybrids. *Scientific Horizons*, 27(10), 91–101. <https://doi.org/10.48077/scihor10.2024.91>.
35. Tsyliuryk, O. I., Horshchar, V. I., Izhboldin, O. O., Kotchenko, M. V., Rumbakh, M. Y., Hotvianska, A. S., Ostapchuk, Y. V., & Chornobai, V. H. (2023). The influence of biological products on the growth and development of sunflower plants (*Helianthus annuus* L.) in the northern steppe of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*, 27(10), 91–101. <https://doi.org/10.48077/scihor10.2024.91>.
36. Zalai, M., Wojtor, C., Nagy, J., Széles, A., Monoki, S. I., & Illés, Á. (2025). Challenges in precision sunflower cultivation: The impact of the agronomic environment on the quality of precision sowing techniques and yield parameters. *AgriEngineering*, 7(5), Article 145. <https://doi.org/10.3390/agriengineering7050145>.
37. Циганський, В. І., Мельник, О. І., Ковальчук, О. М., & Стефанишин, В. М. (2022). Вплив позакореневих підживлень на продуктивність соняшнику в умовах Південного Степу України. *Лісівництво та аграрна наука*, (10), 45–53. <http://forestry.vsau.org/storage/articles/October2022/zbyOpBTKu2qoNnoL2s73.pdf>.
38. Мельник, О. І., Ковальчук, О. М., Стефанишин, В. М., & Циганський, В. І. (2022). Вирощування соняшнику з використанням мікродобрив та

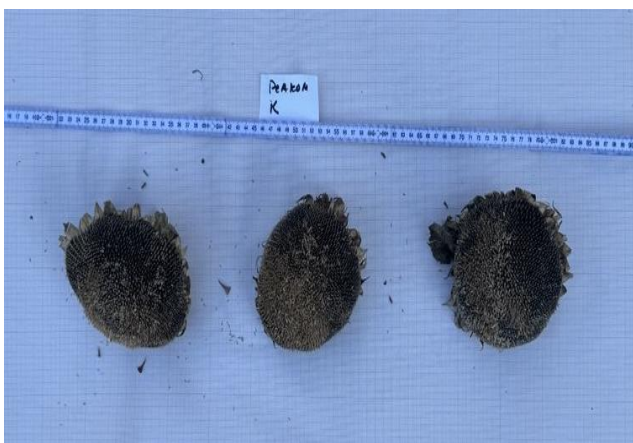
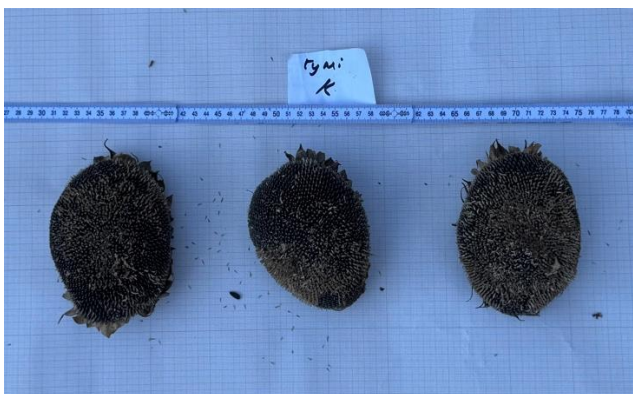
- бактеріальних препаратів. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*, (3), 132–138. <https://journals.pdaa.edu.ua/visnyk/article/view/1328/1748>.
39. Чуйко, Д. В., Брагін, О. М., Михайленко, В. О., Романова, Т. А., & Романов, О. В. (2020). Вплив регуляторів росту рослин на продуктивність ліній соняшнику. *Селекція і насінництво*, (117). <https://journals.uran.ua/pbsd/article/view/207186/207656>
40. Basile, B., Brown, N., Valdés, J. M., Cardarelli, M., Scognamiglio, P., Mataffo, A., Rouphael, Y., Bonini, P., & Colla, G. (2021). Plant-based biostimulant as sustainable alternative to synthetic growth regulators in two sweet cherry cultivars. *Plants*, 10(4), Article 619. <https://doi.org/10.3390/plants10040619>.
41. Акуаку, J., Melnyk, A., Zherdetska, S., Melnyk, T., Surgan, O., & Makarchuk, A. (2020). Вплив регуляторів росту рослин та позакоренових підживлень на врожайність і якість насіння кондитерського соняшнику в Лівобережному Лісостепу України. *Наукові праці. Серія А. Агронія*, LXIII(1), 155–165. https://agronomyjournal.usamv.ro/pdf/2020/issue_1/Art21.pdf.
42. Качанова, Т. В., Манушкіна, Т. М., Петрова, О. І., & Шевчук, Н. П. (2023). Продуктивність високоолеїнового соняшнику при вирощуванні в умовах Південного Степу України. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*, 27(1), 41–50. <https://doi.org/10.56407/bs.agrarian/1.2023.41>.
43. Муха, Б. Г. (2025). Оптимізація норм висіву та мінерального живлення при вирощуванні ячменю озимого за умов кліматичних ризиків в умовах Лівобережного Лісостепу України. *Scientific Progress & Innovations*, 28(2), 96–102. <https://doi.org/10.31210/spi2025.28.02.15>.
44. Гангур, В., & Космінський, О. (2024). Біоенергетична оцінка ефективності різних рівнів мінерального живлення в технології вирощування соняшнику. *Scientific Progress & Innovations*, 27(1), 13–18. <https://doi.org/10.31210/spi2024.27.01.02>.
45. Агротехносоюз. (n.d.). *Гуміфілд Форте Аміно*. <https://www.agrotechnosouz.com.ua/stranica-tovara/гуміфілд-форте-аміно>.

46. БТУ-Центр. (n.d.). *ХЕЛПРОСТ® Універсальний інтегрований КС*. <https://btu-center.com/xelprost-universalnii-integrovanii-ks>.
47. Біліченко, Д. О. (2018). *Вплив позакореневого підживлення Реакомом на урожайність і якість зерна кукурудзи* [Кваліфікаційна робота бакалавра, Полтавський державний аграрний університет]. <https://dspace.pdau.edu.ua/items/acfd82bf-7238-46d2-8f95-f7bb5f27c9e1>.
48. ТОВ «БТУ-Центр». (n.d.). *Органік Баланс*. <https://btu-center.com/organik-balans>.
49. RAGT. (n.d.). *Соняшник РЖТ Вольф: характеристика сорту*. <https://ragt.ua/сорт/ржт-вольф/>.
50. Шакалій, С. М., & Кулик, Є. І. (2024). Вплив способів обробки біостимуляторами на посівні якості насіння соняшника. *Таврійський науковий вісник*, (137), 343–347. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.137.40>.

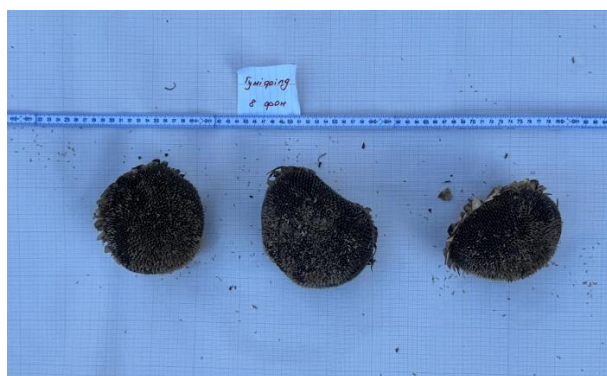
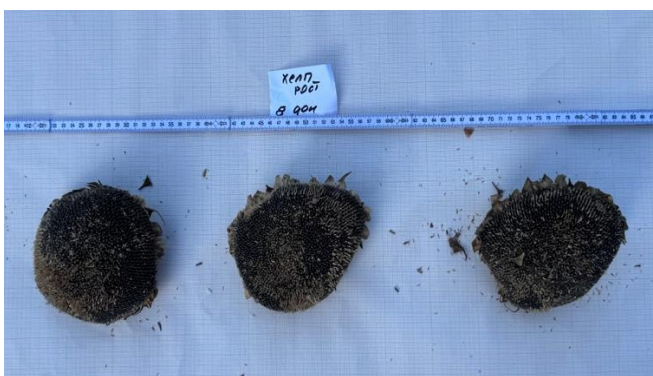
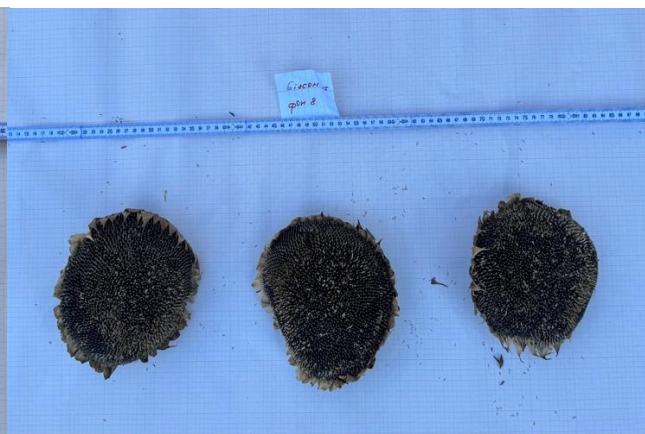
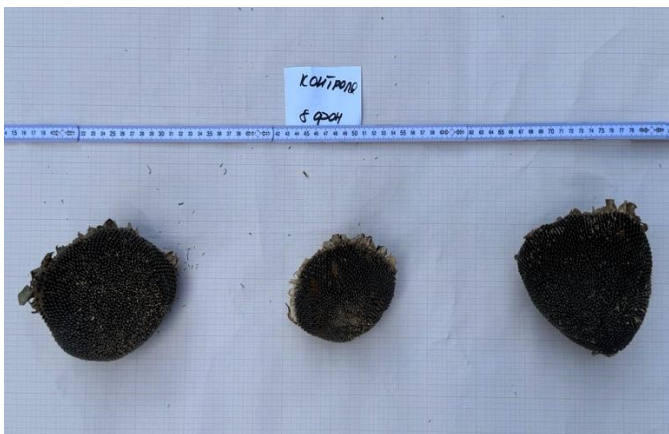
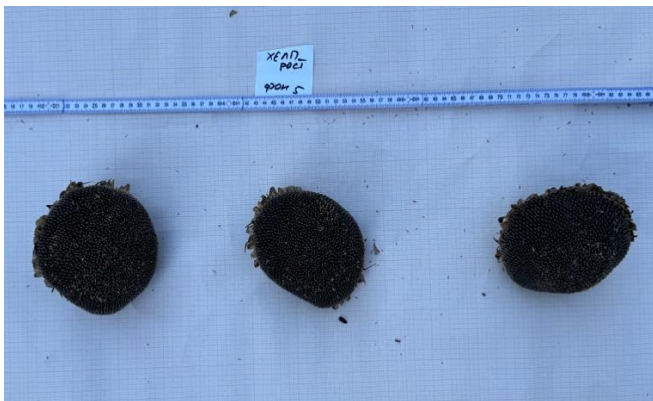
ДОДАТКИ

Додаток А





Додаток А.1



Додаток Б



Додаток Б 1.



Додаток В

