

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Агрономічний факультет
Спеціальність 201 «Агрономія»
Освітньо-професійна програма «Агрономія»

«Допустити до захисту»
зав. кафедри агрохімії
професор Сергій Крамарьов

«_____» _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня магістр на тему:

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ГУМІНОВИХ ПРЕПАРАТІВ У
ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ В УМОВАХ
ФЕРМЕРСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА «ПРОГРЕС» КАМ'ЯНСЬКОГО
РАЙОНУ ДНІПРОПЕТРОВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Здобувач вищої освіти _____ Еліна КРАВЕЦЬ

Керівник дипломної роботи:
к. с.-г. наук, доцент _____ Любов БАНДУРА

Дніпро 2024 р.

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Факультет – агрономічний
Спеціальність – 201 Агрономія
Освітньо-професійна програма Агрономія

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Завідувач кафедри агрохімії,
доктор с.-г. наук, професор
_____Сергій КРАМАРЬОВ
« ____ » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи здобувачу
другого (магістерського) рівня вищої освіти

Кравець Еліна Олександрівна

1. Тема роботи: *«Ефективність застосування гумінових препаратів у технології вирощування пшениці озимої в умовах фермерського господарства «Прогрес» Кам'янського району Дніпропетровської області»*

2. Термін здачі студентом закінченої роботи: _____ 2024 року

3. Вихідні дані до роботи:

- с.-г. підприємство – *фермерського господарства «Прогрес» Кам'янського району Дніпропетровської області*;
- сільськогосподарська культура – *пшениця озима*.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити):

- викласти методику проведення досліджень;
- зробити порівняльний аналіз фактичної врожайності пшениці озимої;
- провести оцінку досліджуваних елементів;
- на основі розрахунків та аналізу проведених досліджень зробити висновки та надати рекомендації виробництву.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

- таблиці характеристики ґрунту з основними показниками родючості, структура посівних площ у господарстві;
- таблиця економічної ефективності вирощування соняшник.

6. Дата видачі завдання: 15 вересня 2023 року

Керівник

кваліфікаційно роботи

Любов БАНДУРА

Завдання прийняв

до виконання

Еліна КРАВЕЦЬ

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Огляд літератури	01.04.2024 – 30.04.2024	виконано
2.	Об'єкт, предмет та умови проведення досліджень	01.05.2024 – 30.06.2024	виконано
3.	Методика та результати проведення досліджень	15.10.2024. – 30.10.2024	виконано
4.	Економічна оцінка	15.10.2024. – 30.10.2024	виконано
5.	Охорона праці	15.11.2024. – 24.11.2024	виконано
6.	Оформлення роботи, висновки і рекомендації виробництву	06.12.2024	виконано

Керівник

кваліфікаційно роботи

Любов БАНДУРА

Завдання прийняв

до виконання

Еліна КРАВЕЦЬ

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	8
1.1.Агрохімічні, екологічні й економічні аспекти застосування гумінових препаратів в аграрному виробництві	8
1.2. Ключові функції стимуляторів росту рослин гумінової природи	14
1.3. Молекулярна будова і властивості гумінових речовин: структурні особливості та їх зв'язок із біологічною активністю	21
1.4.Особливості технологій вирощування озимої пшениці із застосуванням гумінових препаратів	29
РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТ, ПРЕДМЕТ ТА УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	36
2.1 Об'єкт і предмет досліджень	36
2.2 Умови проведення досліджень	36
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА РЕЗУЛЬТАТИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	40
3.1.Дослідження впливу гумінових препаратів та їх сумішей із мінеральними добривами на біометричні та морфометричні показники рослин пшениці озимої в умовах закритого ґрунту	40
3.2. Визначення біометричних і морфометричних показників рослин пшениці озимої	41
3.3. Визначення вмісту фотосинтетичних пігментів у рослинах озимої пшениці	46
3.4. Проведення польового досліду для оцінки ефективності гумінових препаратів у технології вирощування озимої пшениці	49
3.5. Вплив варіантів удобрення на вміст основних елементів живлення у ґрунті орного шару	51
3.6.Вплив варіантів удобрення на елементи структури врожаю та врожайність озимої пшениці сорту Смуглянка	52
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	57
РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	61
ВИСНОВКИ	63
РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ДЖЕРЕЛ	66

РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної роботи: «Ефективність застосування гумінових препаратів у технології вирощування пшениці озимої в умовах фермерського господарства «Прогрес» Кам'янського району Дніпропетровської області»

Застосування гумінових препаратів у технологіях вирощування озимої пшениці сприяє реалізації цих переваг, що дозволяє підвищити врожайність і забезпечити стабільність продуктивності навіть у стресових умовах вирощування.

Об'єкт дослідження. Процеси росту, розвитку та продуктивності пшениці озимої за умов вирощування в фермерському господарстві «Прогрес» Кам'янського району Дніпропетровської області.

Предмет дослідження. Вплив гумінового препарату 5R SoilBoost, NH_4NO_3 + 5R SoilBoost, суміші КАС + 5R SoilBoost порівняно з використанням чистих мінеральних добрив на агробіологічні показники росту і розвитку пшениці озимої, формування її врожайності, якісні характеристики зерна та економічну ефективність вирощування в умовах фермерського господарства.

Кваліфікаційна робота складається із вступу, 5 розділів, висновків і рекомендацій виробництву, списку використаних літературних джерел. Загальний обсяг роботи 72 сторінок комп'ютерного тексту, включаючи 11 таблиць, 6 рисунків. Список використаних джерел складається з 61 найменування.

В роботі визначено ефективне використання комплексних добрив, що дозволяє значно підвищити врожайність пшениці озимої. при удобренні сумішшю 5R SoilBoost + КАС, приріст - 22,7- 23%. Отже, правильний вибір і застосування форм добрив дозволяє забезпечити збалансоване живлення рослин, мінімізувати дефіцит окремих елементів у ґрунті, що, забезпечує суттєве підвищення врожайності сільськогосподарської культури.

Ключові слова: ФГ «Прогрес», пшениця озима, гуміновий препарат 5R SoilBoost, КАС, NH_4NO_3 технологія, урожайність, охорона праці, економічна ефективність.

ВСТУП

Максимальне забезпечення рослин мінеральними елементами живлення є важливим чинником для підвищення їх врожайності. Однак досягти цього виключно за рахунок використання мінеральних добрив неможливо. Стійкий розвиток рослинництва вимагає комплексного підходу, що включає застосування високоефективних мінеральних добрив із макро- та мікроелементами, а також стимуляторів росту рослин. Ці стимулятори є джерелом біологічно активних речовин, які активують природні процеси, покращують засвоєння поживних речовин, підвищують стійкість рослин до біотичних стресів і сприяють ефективнішій боротьбі з бур'янами [4, 5]. Завдяки цьому досягається підвищення продуктивності сільськогосподарських культур, екологізація виробництва та зниження негативного впливу на довкілля.

Стимулятори росту підтримують розвиток рослин на всіх етапах їхнього життєвого циклу — від проростання насіння до дозрівання врожаю. Їхня дія спрямована на оптимізацію метаболічних процесів, що забезпечує підвищення врожайності, якості продукції, стійкість до абіотичних стресів і сприяє швидкому відновленню після їх впливу. Вони полегшують засвоєння поживних речовин, покращують якісні характеристики врожаю, сприяють підвищенню ефективності водопоглинання, покращують фізико-хімічні властивості ґрунту та стимулюють розвиток корисних ґрунтових мікроорганізмів [36].

Завдяки регуляції гормонального статусу та активації антиоксидантних систем, стимулятори росту мінімізують вплив біотичних і водних стресів, які значно впливають на продуктивність рослин. Вони не лише сприяють швидкому проростанню насіння, але й можуть подовжувати середній період дозрівання сільськогосподарських культур [39, 40]. Ці речовини також компенсують дефіцит поживних елементів, активуючи ферментативну

діяльність клітин і стимулюючи синтез біологічно активних сполук самою рослиною.

Ефективність стимуляторів росту підтверджена при вирощуванні різних культур, зокрема зернових і бобових. У випадку зернових культур їх дія зумовлена здатністю рослин накопичувати більше макро- та мікронутрієнтів [46, 47], збільшувати площу асиміляційної поверхні [48, 49], підвищувати концентрацію хлорофілу [50, 51], що активізує фотосинтетичні процеси і сприяє підвищенню продуктивності [52, 53]. Крім того, використання стимуляторів росту дозволяє зменшити залежність від мінеральних добрив, забезпечуючи більш екологічне та стійке виробництво.

Дослідження показали, що комбіноване використання органічних, мінеральних та гумінових добрив збагачує ґрунт поживними речовинами і органічним вуглецем [5, 6]. Гумінові речовини сприяють ефективному росту рослин, посилюючи засвоєння поживних речовин і стимулюючи розвиток кореневої системи. Їх важливою властивістю є здатність знижувати негативний вплив несприятливих погодних умов, таких як посуха, надлишок вологи чи екстремальні температури, що має ключове значення у сучасних агротехнологіях.

Отже, вивчення ефективності гумінових препаратів, як у чистому вигляді, так і в поєднанні з мінеральними добривами, дозволяє збільшувати потенціал рослинних культур і досягати високих врожаїв. Інтеграція гумінових препаратів у технології вирощування зернових, зокрема озимої пшениці, є перспективним шляхом для підвищення продуктивності агропромислового виробництва та отримання екологічно чистої продукції з використанням природних добрив, що підтверджує актуальність проведених досліджень.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Агрохімічні, екологічні й економічні аспекти застосування гумінових препаратів в аграрному виробництві

В останні роки виробництво гумінових препаратів активно розвивається, що пов'язано з їх широким використанням у сільському господарстві. Станом на початок 2018 року глобальний ринок гумінових добрив досягнув 2241 млн доларів США [20, 2, 56].

У зарубіжних країнах застосування гумінових добрив спрямоване на вирішення конкретних завдань, поставлених перед сільськогосподарським виробництвом.

Сільськогосподарська продукція сьогодні орієнтована на досягнення визначених показників якості та кількості [56]. У таких галузях, як овочівництво, плідівництво та декоративне садівництво, гумінові добрива стали невід'ємною складовою агротехнічних прийомів. На сьогодні гуміновими препаратами обробляється від 50 % до 80 % посівів сільськогосподарських культур. Важливим фактором, що стимулював різке зростання ринку гумінових добрив, є їх природне походження (отримання з природної сировини) та екологічність [54].

У Європі ключовими компонентами ринку гумінових добрив є синтетичні стимулятори росту рослин, екстракти на основі морських водоростей і рослин з імуномодуляторними властивостями. В Україні ж ринок гумінових препаратів формується переважно за рахунок розробок і виробництва вітчизняних наукових установ. Протягом останніх 15 років українські науковці створили понад 20 ефективних препаратів. Лідером за кількістю зареєстрованих препаратів є Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України та ДП «Міжвідомчий науково-технологічний центр «Агробіотех» НАН та МОН України. Вони є авторами майже 40 % вітчизняних гумінових препаратів, 13 з яких дозволені для використання не лише в Україні, а й у низці інших країн, таких як Білорусь, Казахстан, Німеччина та Китай.

Гумінові препарати українського виробника компанії «Life Force Ukraine» (Лайф Форс Україна) набувають все більшої популярності на вітчизняному ринку. Продукція компанії сертифікована «Органік стандарт», що підтверджує її високу якість, екологічну чистоту та придатність для використання в органічному землеробстві. Асортимент включає як чисті гумінові препарати («Гумат LF 20», «Гумат 500»), так і спеціалізовані продукти («Гумат Старт», «Фульвігум», «Гумат Аміно», «Гумат Кремній», «Антистрес 03», «Фульвімакс»).

Це концентровані рідкі препарати з різним вмістом солей гумінових і фульвових кислот. Спеціалізовані продукти додатково збагачені мікроелементами, екстрактами морських водоростей та амінокислотами. Поєднання гуматів із іншими фізіологічно активними речовинами забезпечує потужний стимулюючий вплив на ріст рослин та виражений антистресовий ефект.

Україна також імпортує гумінові препарати з різних країн, включаючи Білорусь, Китай, Угорщину, Німеччину, США тощо. Зокрема, компанія «Агротехносоюз» є офіційним представником німецької компанії «HuminTech GMBH» в Україні та постачає концентровані та очищені гумати, отримані з леонардиту. Продукція цієї компанії становить понад 50 % від загального обсягу імпорту гумінових препаратів на український ринок.

Серед основних препаратів компанії представлені «Гуміфілд, в. г.», «Гуміфілд ВР-18» та «Фульвітал, в. г.». Крім того, «Агротехносоюз» зареєстрував спеціалізовані гумінові препарати, такі як «Гуміфілд Форте Аміно», збагачений амінокислотами, що забезпечує додатковий стимулюючий ефект.

Компанія «HuminTech GMBH» також пропонує спеціалізовані гумінові препарати, такі як «Гуміфілд Форте Брікс» з додаванням екстракту морських водоростей, а також комбіновані засоби, включаючи «Гуміфілд Форте Фульвік», що містить додаткові фульвові кислоти, і «Гуміфілд Форте Макс», збагачений азотом.

Серед провідних виробників біологічних добавок для ґрунту та стимуляторів росту рослин на основі гумінових, фульвових і ульмінових кислот, отриманих з леонардиту, останнім часом виділяється американська компанія SoilBiotics. Її виробничі потужності розташовані в штаті Нью-Мексико, а також в штаті Іллінойс, де функціонують сучасні лабораторії. Всі інгредієнти для продукції SoilBiotics видобуваються безпосередньо із сирової руди.

SoilBiotics стала однією з перших компаній, яка впровадила інноваційні технології переробки леонардиту для створення унікальних продуктів для ґрунту та рослин, що не мають аналогів у світі. Завдяки використанню високоякісної сировини та передових виробничих технологій, компанія здобула довіру агровиробників з США, Канади, Пакистану, В'єтнаму та Малайзії.

З 2013 року ексклюзивним дистриб'ютором і представником продукції SoilBiotics в Україні є компанія ArgusBiotix, яка активно просуває ці інноваційні рішення на українському аграрному ринку.

Органічні продукти компанії SoilBiotics занесені до списку Інституту перевірки органічних матеріалів (OMRI, USA) і дозволені для використання в сертифікованому органічному виробництві та харчовій промисловості відповідно до стандартів Національної органічної програми Міністерства сільського господарства США (USDA). Компанія пропонує гумінові продукти за трьома основними напрямками:

- 1r Seed Treatment – для передпосівної обробки насіння, що значно покращує енергію проростання, схожість насіння та швидкість росту розсади.
- 4r Foliar Concentrate – для позакореневого підживлення під час вегетації (містить 90,02 % гумінової кислоти, що є найвищим показником серед усіх продуктів SoilBiotics).
- 5r SoilBoost EA – для збагачення ґрунту поживними елементами (містить 84,17 % гумінових кислот).

Останні два препарати були використані в проведених дослідженнях.

Ефективність стимулюючої дії гумінових кислот підтверджують дослідження Поліської дослідної станції ННЦ «ІГА імені О. Н. Соколовського». Згідно з результатами, використання гумінових препаратів на основі сапропелю сприяло значному покращенню лабораторних показників насіння: енергія проростання збільшилася до 28 %, схожість – до 20 %, довжина проростка – на 77,4 %. Урожайність овочевих культур зросла на 34,4–88,9 %, а якість продукції також суттєво покращилася: вміст вітаміну С збільшився до 136,7 %, а рівень нітратів знизився в 3,2 рази.

При цьому приріст урожайності овочевих культур порівняно з контролем становив 15,4–39,4 %. Замочування розсади в гумінових препаратах забезпечило збільшення врожаю на 38,1–88,9 % порівняно з контрольними зразками [565].

Обробка насіння озимої пшениці розчинами гуматів, отриманих з торфу та вугілля за різними технологіями екстрагування, з концентрацією 0,001–0,1 %, сприяла формуванню більш розгалуженої кореневої системи. При цьому довжина зародкових корінців збільшувалась на 9–63 %, а проростків – на 2–17 % порівняно з контролем.

Дослідження, проведені науковцями цього ж інституту на Сумській дослідній станції із соняшником сортів «Сівер» та «Харківський-49» із застосуванням гуматів у поєднанні з мінеральними добривами, підтвердили високу ефективність гумінових препаратів. Приріст урожайності в цих дослідях становив 6–21 % і 33–34 % відповідно. Крім того, обробка рослин на початку цвітіння сприяла підвищенню вмісту жиру в насінні на 2,35 % [566].

Сучасні вітчизняні гумінові препарати вирізняються високою окупністю завдяки малим нормам внесення та доступним цінам. Жоден з інших відомих агротехнічних заходів не може перевершити їх за рівнем рентабельності та приростами врожаїв. З урахуванням перспектив промислового виробництва вітчизняних гумінових препаратів, доцільно зазначити, що їх використання може суттєво збільшити експортний потенціал України на сотні мільйонів доларів, а також сприяти зміцненню економіки аграрних підприємств і

держави в цілому. Експерти прогнозують, що застосування українських гумінових препаратів на третині орних площ країни здатне забезпечити додатковий урожай у 3 мільйони тонн озимої пшениці високої якості та 400 тисяч тонн насіння соняшника й кукурудзи.

Біологічно активні добрива, збагачені гуміновими речовинами, широко використовуються в органічному землеробстві. При внесенні однієї тонни такого добрива в ґрунт додається до 348 кг органічної речовини, а також значна кількість гумінових (15 кг) та фульвових (12 кг) кислот, до 9 кг азоту й калію та 5 кг фосфору. Завдяки високому вмісту органічного вуглецю гумінові добрива покращують гумусовий стан ґрунту, що сприяє підвищенню продуктивності сівозмін і ефективності органічного виробництва.

Агротехнічні прийоми внесення гумінових препаратів у ґрунт, зокрема у поєднанні з мінеральним підживленням, уже стали невід'ємною частиною сільськогосподарської практики в багатьох передових аграрних країнах, таких як США, Канада, Іспанія та Італія [57].

Останнім часом китайський ринок гумінових препаратів демонструє стрімке зростання. Багато великих виробників для підвищення регулюючої активності цих добрив інтегрують їх у склад азотних та рідких комплексних добрив.

Варіативність форм гумінових препаратів вражає: вони доступні як у чистому вигляді, так і збагачені мікроелементами, у твердій, порошковій, гранульованій та рідкій формах. Рідкі гумінові препарати набули особливої популярності не лише на ринку України, але й у багатьох інших країнах. Їх перспективність зумовлена можливістю широкого застосування в сучасних агротехнологіях.

Рідкі гумінові препарати набувають все більшого поширення у сільськогосподарському виробництві завдяки їх універсальності. Їх склад можна змінювати в широких межах, що дозволяє створювати спеціалізовані добрива для різних сільськогосподарських культур, враховуючи їх біологічні особливості та рівень родючості ґрунтів. Завдяки рідкій формі такі добрива

ефективно застосовуються у будь-яких кліматичних умовах, зокрема в посушливих регіонах та місцевостях із жорсткою водою.

Широке виробництво та впровадження рідких гумінових препаратів відкривають можливості для зменшення забруднення довкілля. Порівняно із твердими формами добрив, рідкі мають низку переваг.

По-перше, вони краще засвоюються рослинами як за кореневого, так і позакореневого підживлення, менше залежать від опадів, що знижує втрати через вимивання та вивітрювання.

По-друге, рідкі добрива забезпечують рівномірний розподіл поживних речовин по всій площі, гарантуючи однакове живлення для всіх рослин.

По-третє, завдяки своїм фізико-хімічним властивостям, такі добрива можна змішувати у різних пропорціях, підбираючи оптимальне співвідношення поживних речовин для конкретних культур (таблиця 1).

Отже, на основі комплексних наукових і виробничих досліджень можна зробити висновок, що впровадження гумінових препаратів, як у чистому вигляді, так і у сумішах із мінеральними добривами, є перспективним напрямком для вирішення ключових завдань сучасного сільського господарства України. Це стосується підвищення врожайності сільськогосподарських культур, покращення якості продукції агропромислового комплексу та збереження і відновлення родючості ґрунтів

Таблиця 1

Особливості та переваги використання гумінових добрив

Параметри	Властивості
Функції	Концентруюча (акумулятивна) Транспортна Регуляторна Стимулювальна
Способи використання	Передпосівна обробка насіння Додавання до ґрунтового субстрату перед висівом насіння Позакореневе використання Обприскування розеточних частин рослин
Форми	Чисті препарати та збагачені мікроелементами Тверді та порошкоподібні Гранульовані та рідкі
Переваги від використання	Захист від пестицидної дії Стійкість проти стресу, викликаного важкими металами Резистентна дія в умовах залізодефіцитного хлорозу Регуляція водного дефіциту Антиоксидантна активність Дія на сольовий стрес Оптимізація температурного стресу Стійкість проти біотичного стресу Покращення властивостей ґрунту
Негативний вплив на ґрунт	Наявність важких металів (походженням є леонардит) Містять отруйні речовини (отримані з сапропелю) Утворення нерозчинних сполук за одночасного використання фосфорних добрив або селітри в сумішах з гуматами Пригнічування рослин за умови використання

Джерело: систематизовано автором.

1.2. Ключові функції стимуляторів росту рослин гумінової природи

Сучасні методи вирощування зернових культур спрямовані на максимальне задоволення потреб рослин у мінеральних елементах живлення для підвищення їх урожайності. Проте вирішити це завдання виключно за рахунок використання мінеральних добрив неможливо. Стійкий розвиток рослинництва передбачає застосування не лише вискоєфективних мінеральних добрив із макро- та мікроелементами, а й стимуляторів росту

рослин. Ці речовини є джерелом біологічно активних сполук, які активують природні процеси для покращення засвоєння поживних речовин, підвищення стійкості до біотичних стресів та ефективнішої боротьби з бур'янами [43, 45]. Завдяки цьому забезпечується зростання продуктивності сільського господарства, одночасно сприяючи екологізації виробництва та зменшенню негативного впливу на довкілля.

Стимулятори росту підтримують розвиток рослин протягом усього життєвого циклу – від проростання насіння до досягання врожаю. Їхня дія спрямована на оптимізацію метаболічних процесів, що підвищує врожайність і якість продукції, забезпечує стійкість до абіотичних стресів та сприяє відновленню після них. Вони полегшують засвоєння поживних речовин, покращують якісні характеристики врожаю, підвищують ефективність водопоглинання, покращують фізико-хімічні властивості ґрунту та стимулюють розвиток корисних ґрунтових мікроорганізмів [43].

Завдяки регуляції гормонального статусу та активації антиоксидантних систем, стимулятори росту зменшують негативний вплив біотичних [47, 48] і водних стресів, які суттєво впливають на продуктивність рослин.

Стимулятори росту не лише сприяють проростанню насіння, але й можуть подовжувати середній період дозрівання сільськогосподарських культур [43, 44].

Вони компенсують дефіцит поживних речовин [41], активуючи ферментативну діяльність клітин і стимулюючи утворення біологічно активних сполук самою рослиною. Це сприяє підвищенню проникності мембран кореневих клітин, що полегшує засвоєння мінеральних речовин із ґрунтового розчину. Крім того, використання стимуляторів росту прискорює поглинання кисню, що стимулює фотосинтез і фотосинтетичну активність агроценозів, збільшуючи врожайність [42].

Позитивна дія стимуляторів росту була підтверджена при вирощуванні різних культур [43, 44], зокрема зернових і бобових [44, 45]. Для зернових культур ефективність стимуляторів росту пояснюється здатністю рослин

накопичувати більше макро- та мікронутрієнтів [46, 47], збільшувати площу асиміляційної поверхні [48, 49], підвищувати концентрацію хлорофілу [45, 50], що, в свою чергу, активізує фотосинтетичні процеси та підвищує продуктивність культур [45, 48].

Застосування стимуляторів росту сприяє покращенню якості та врожайності зерна. Важливим є те, що їх використання дозволяє зменшити потребу в кількості мінеральних добрив, забезпечуючи більш стійке та екологічно безпечне виробництво.

Застосування мінеральних добрив та пестицидів впливає на безпечність продукції рослинництва і має негативний вплив на природне середовище [45]. Дослідження показали, що комбіноване використання органічних, мінеральних та гумінових добрив сприяє збагаченню ґрунту поживними речовинами та органічним вуглецем [45, 46].

Після аналізу численних літературних джерел, які висвітлюють результати експериментальних досліджень щодо ефективності стимуляторів росту різного походження, було обрано гумінові препарати. Їх основною перевагою є природне походження – низинний торф, буре вугілля (леонардит), сапропелі озерного походження тощо [47].

Леонардит, вид бурого вугілля, вирізняється високим вмістом гумінових кислот, але має низький рівень фульвових кислот, які є важливими для фізіологічної активності рослин. Гуматні добрива на основі торфу містять більше фульвових кислот і менше баластних речовин. Сапропелі, своєю чергою, багаті на мінеральні та хімічні домішки, тоді як добрива на основі рідкого лігніну отримали широке застосування завдяки високій розчинності та значному вмісту фульвових кислот [58].

Гумінові речовини сприяють ефективному зростанню рослин за рахунок посилення засвоєння поживних речовин і подовження бічних коренів. Цей ефект, відомий як «ауксиноподібний», пов'язаний із стимуляцією активності АТФ-аз у плазматичних мембранах [59]. Вони також покращують доступність мікроелементів, таких як залізо, не тільки шляхом хелатування, але й завдяки

підвищенню здатності коренів поглинати поживні речовини з ґрунту [40]. Ця властивість лежить в основі їхньої ефективності в боротьбі з бур'янами.

Однією з найважливіших властивостей гумінових речовин є здатність зменшувати вплив негативних погодних умов, забезпечуючи стійкість рослин до посухи, надлишку вологи, а також до високих або низьких температур. Це відіграє ключову роль у сучасних технологіях вирощування культур.

Застосування гумінових речовин у вирощуванні зернових культур [46, 42] дозволяє значно зменшити негативний вплив нестачі вологи, зокрема на 20% [463]. Гумінові речовини, будучи неспецифічними активаторами імунної системи рослин, підвищують їхню стійкість до захворювань, стимулюють розвиток кореневої системи, регулюють кореневе та позакореневе живлення, а також покращують засвоєння поживних речовин і мікроелементів із ґрунтового розчину. Як наслідок, підвищується коефіцієнт використання мінеральних добрив, що дозволяє скоротити застосування азотних добрив на 30–50%, знижуючи витрати та заощаджуючи значні кошти.

Узагальнюючи, гумінові речовини виконують такі ключові функції [44, 45, 46]:

- а) Концентруюча (акумулятивна) – забезпечує накопичення макро- та мікроелементів, необхідних для рослин;
- б) Транспортна – сприяє формуванню геохімічних потоків мінеральних і органічних речовин, переважно у водному середовищі;
- в) Регуляторна – охоплює численні процеси, що відбуваються у ґрунтах, водах та інших природних середовищах;
- г) Стимулююча – прискорює проростання насіння, підвищує стійкість рослин до стресових факторів і спричиняє інші позитивні фізіологічні ефекти.

Сукупність цих функцій забезпечує підвищення продуктивності сільськогосподарських культур (див. таблицю 1).

Попри позитивний вплив гумінових речовин на рослини, існують і деякі обмеження. Наприклад, гумати, виготовлені з леонардиту, можуть містити важкі метали, а препарати із сапропелю – токсичні домішки. Змішування

гуматів із фосфорними добривами чи селітрою може призводити до утворення нерозчинних сполук. Надмірні концентрації гуматів також здатні пригнічувати рослини [58].

Однак переваги гумінових речовин значно переважають їхні недоліки. Особливо цінною є їхня дія в критичні періоди розвитку рослин, такі як початкові етапи росту або стресові умови, наприклад, посухи чи заморозки, характерні для Лісостепу, Північного Степу України, включаючи Дніпропетровщину.

Ефективність гумінових препаратів залежить від багатьох факторів, включаючи спосіб їх застосування. Найпоширенішими методами використання гумінових речовин при вирощуванні зернових культур є передпосівна обробка насіння, внесення в ґрунт перед висівом та позакореневе підживлення. Усі ці способи забезпечують позитивний ефект, однак найкращі результати досягаються при їх комбінованому використанні [48].

Більшість досліджень показують, що найефективнішим є передпосівна обробка насіння, яку часто поєднують із позакореневим підживленням упродовж вегетаційного періоду [49]. Водночас деякі дослідники вказують на перевагу внесення гумінових речовин у ґрунт, аргументуючи це тим, що природне середовище гумінових сполук – саме ґрунт, тому цей метод забезпечує їх максимальну ефективність [40].

Ще одним варіантом використання гумінових препаратів є обприскування вегетуючих частин рослин, тобто внесення через листовий апарат. Однак лише низькомолекулярні гумінові сполуки здатні легко проникати через листові пластини, тоді як високомолекулярні сполуки через великі розміри молекул проникають значно гірше. Передбачається, що великі молекули можуть поступово розпадатися на фрагменти, які здатні проникати в клітинну цитоплазму [47]. Аналіз літературних джерел показує, що завдяки унікальній здатності гумінових речовин знижувати поверхневий натяг рідин, їхнє використання ефективне незалежно від способу застосування, оскільки поживні речовини засвоюються рослинами значно краще [47].

Незважаючи на це, залишаються відкритими питання щодо спільного використання стимуляторів росту з мінеральними добривами та їхнього впливу на продуктивність зернових культур. У контексті широкого вибору препаратів на ринку аграрного виробництва необхідно подальше вивчення цих аспектів.

Отже, дослідження ефективності гумінових препаратів як окремо, так і в поєднанні з мінеральними добривами, дозволяє регулювати потенціал рослинних культур для досягнення високих врожаїв. Інтеграція гумінових препаратів у технологію вирощування зернових культур, зокрема озимої пшениці, є перспективним шляхом для підвищення продуктивності та ефективності сільськогосподарського виробництва виробництва екологічно чистої продукції з використанням добрив природного походження, що підкреслює актуальність цього дослідження.

Ефективність гумінових препаратів залежить від багатьох факторів, включаючи спосіб їх застосування. Найпоширенішими методами використання гумінових речовин при вирощуванні зернових культур є передпосівна обробка насіння, внесення в ґрунт перед висівом та позакореневе підживлення. Усі ці способи забезпечують позитивний ефект, однак найкращі результати досягаються при їх комбінованому використанні [48]. Більшість досліджень показують, що найефективнішим є передпосівна обробка насіння, яку часто поєднують із позакореневим підживленням упродовж вегетаційного періоду [19]. Водночас деякі дослідники вказують на перевагу внесення гумінових речовин у ґрунт, аргументуючи це тим, що природне середовище гумінових сполук – саме ґрунт, тому цей метод забезпечує їх максимальну ефективність [10].

Таблиця 2

**Вплив гумінових регуляторів росту на продуктивність основних
сільськогосподарських культур**

Сорт, гібрид	Контроль, без обробки	Гумат натрію, 0,4 л/га	Гумат калію, 0,4 л/га
	ц/га		
Озима пшениця			
Миронівська 61	45,9	49,8	49,9
Яра пшениця			
Харківська 26	35,6	38,8	38,9
Озиме жито			
Дозор	41,0	42,7	43,0
Кукурудза			
Суботівський 190	64	73	75
Соняшник			
Гавриш 14	18,4	21,9	22,1
Соя			
Чернятко	14,5	15,9	16,3
Ярий ячмінь			
Вакула	32,4	34,1	34,3
Озимий ячмінь			
Достойний	33,6	35,2	35,4
Овес			
Чернігівський 28	34,0	36,8	36,9
Цукровий буряк			
Уладівський однонасінний	785	815	819
Картопля			
Лугівська	310	334	336
Поліська рожева	305	327	329
Томат			
Лагідний	829	862	864
Хорів	844	869	875
Борівський	839	868	871
Бобрицький	833	862	865
Флора	810	835	838
Огірок			
Джерело	282	304	309
Роднічок	294	315	322
Капуста пізня			
Харківська зимова	911	947	951
Білосніжка	924	949	954
Яна	915	945	950
Цибуля			
Сквирська	202	217	223
Штутгарт	210	229	235
Морква			
Лосиноостровська	377	401	406
Нантська	368	397	412
Кавун			
Харківський 118	883	908	916

Джерело: дані [47].

Ще одним варіантом використання гумінових препаратів є обприскування вегетуючих частин рослин, тобто внесення через листовий апарат. Однак лише низькомолекулярні гумінові сполуки здатні легко проникати через листові пластини, тоді як високомолекулярні сполуки через великі розміри молекул проникають значно гірше. Передбачається, що великі молекули можуть поступово розпадатися на фрагменти, які здатні проникати в клітинну цитоплазму [41].

Аналіз літературних джерел показує, що завдяки унікальній здатності гумінових речовин знижувати поверхневий натяг рідин, їхнє використання ефективно незалежно від способу застосування, оскільки поживні речовини засвоюються рослинами значно краще [12].

Незважаючи на це, залишаються відкритими питання щодо спільного використання стимуляторів росту з мінеральними добривами та їхнього впливу на продуктивність зернових культур. У контексті широкого вибору препаратів на ринку аграрного виробництва необхідно подальше вивчення цих аспектів.

Отже, дослідження ефективності гумінових препаратів як окремо, так і в поєднанні з мінеральними добривами, дозволяє регулювати потенціал рослинних культур для досягнення високих врожаїв. Інтеграція гумінових препаратів у технологію вирощування зернових культур, зокрема озимої пшениці, є перспективним шляхом для підвищення продуктивності та ефективності сільськогосподарського виробництва екологічно чистої продукції з використанням добрив природного походження, що підкреслює актуальність цього дослідження.

1.3. Молекулярна будова і властивості гумінових речовин: структурні особливості та їх зв'язок із біологічною активністю

Що являють собою гумінові речовини і завдяки чому вони мають унікальні властивості? Сьогодні, з різних причин, точних молекулярних формул гумінових речовин не існує. Це особливий клас природних сполук, які

утворюються внаслідок розкладу залишків відмерлих організмів і характеризуються наявністю структур, стійких до біорозкладання. Вони присутні в ґрунтах (до 10%), водах та твердих горючих копалинах, таких як органічна маса торфів (25–50%) та бурого вугілля (51,5%).

На основі диференційної розчинності у воді гумінові речовини поділяються на три основні групи: гумін, гумінові кислоти та фульвові кислоти.

- Фульвові кислоти – це фракція, добре розчинна у воді, що складається зі слабких органічних кислот аліфатичного та ароматичного ряду. Завдяки невеликому розміру молекул фульвові кислоти легко проникають у корені, стебла та листя рослин, доставляючи корисні мікроелементи. Добрива з фульвовими кислотами у вигляді хелатів з мікроелементами є ефективними для підвищення продуктивності рослин на певних стадіях їхнього розвитку.

- Гуміни – це компоненти гумінових і фульвових кислот, міцно зв'язані з мінеральною частиною ґрунту. До їх складу входять важко розкладні залишки рослин, такі як целюлоза та лігнін. Гуміни є інертними речовинами, які не розчиняються в жодному розчиннику, тому їх називають "інертним гумусом".

- Гумінові кислоти – фракція, розчинна у нейтральному та лужному середовищі, що виконує ключові функції для рослин [473, 474]:

- Накопичують елементи живлення, створюючи енергетичний запас, який стимулює ріст і розвиток рослин.

- Регулюють фізико-хімічні властивості ґрунту, сприяють формуванню його структури, активують мікрофлору, покращують водно-фізичні властивості, тепловий режим і прискорюють гуміфікацію.

- Міцно зв'язують радіонукліди, важкі метали та залишки пестицидів, запобігаючи забрудненню рослин і ґрунтових вод.

- Здійснюють прямий фізіологічний вплив на рослини, оскільки є носіями незамінних амінокислот і вітамінів.

Таким чином, гумінові речовини, завдяки своїй унікальній структурі, відіграють важливу роль як у підвищенні родючості ґрунту, так і в стимуляції росту та розвитку рослин.

Наявність у гумінових кислот численних специфічних властивостей відкриває широкі можливості для їх практичного застосування в різних галузях, зокрема в аграрному виробництві. Це викликає значний інтерес до цих речовин як у виробників, так і у науковців. Особливу увагу привертає їхня біологічна активність, а також препарати на основі гумінових кислот [475]. Проте їх хімічна структура та взаємозв'язок із властивостями досі залишаються недостатньо вивченими.

Вперше гумінові кислоти були виділені з торфу німецьким вченим Ф. Ахардом у 1786 році, і відтоді понад 200 років вони є об'єктом досліджень науковців у всьому світі. Ці кислоти є аналогами сполук, що утворюються внаслідок природного розкладання органічних залишків у ґрунті. Однак, через складність їхньої природи, точних молекулярних формул гумінових речовин досі не встановлено. Усі запропоновані формули є гіпотетичними схемами, які враховують лише склад сполук і деякі їхні властивості, залишаючи невідомим просторове розташування атомів і атомних груп.

З хімічної точки зору гумінові кислоти характеризуються нестехіометричним складом, нерегулярністю та гетерогенністю будови. На ранніх етапах досліджень було запропоновано модель структури гумінових кислот, згідно з якою вони є циклічними кислотами з високим ступенем полімеризації (рис. 1).

Ця унікальна будова гумінових кислот пояснює їхню багатофункціональність і потенціал для подальшого дослідження і практичного застосування.

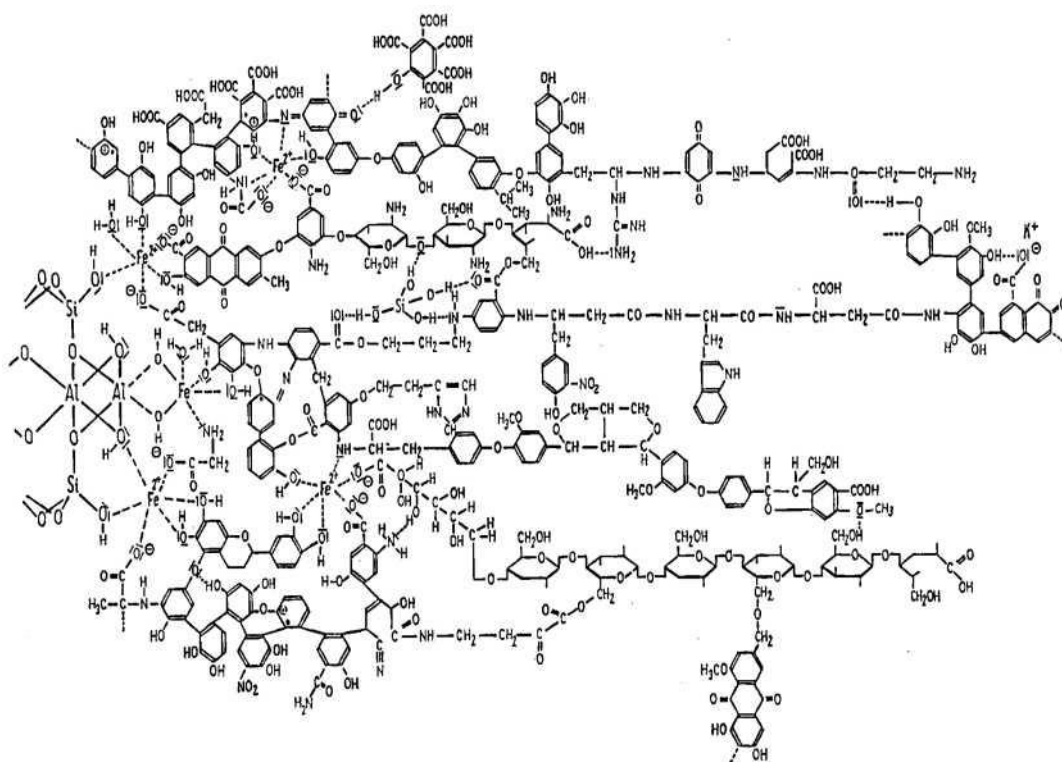


Рис. 1. Структура гумінової кислоти згідно з Kleinhempel Dieter (1970)
Джерело: дані [46].

Гумінові кислоти мають ароматичне ядро, яке з'єднане з амінокислотами, пептидами, цукрами та іншими компонентами аліфатичної структури. Ядро складається з ароматичних кілець фенольного типу або гетероциклічних сполук, що містять азот, таких як індол, тримідин, пурин тощо. Циклічні макрокомплекси включають бензольні кільця, аліфатичні ланцюги та різноманітні функціональні групи, серед яких карбоксильні, гідроксильні, карбонільні, естерні, етерні та амідні [40].

Згодом поширення набула гіпотетична модель структури гумінової кислоти, запропонована Ф. Стівенсоном (рис. 2). Відповідно до цієї моделі, молекула включає бензольні кільця, з'єднані з фенольними та карбоксильними групами, які визначають її фізико-хімічні та біологічні властивості.

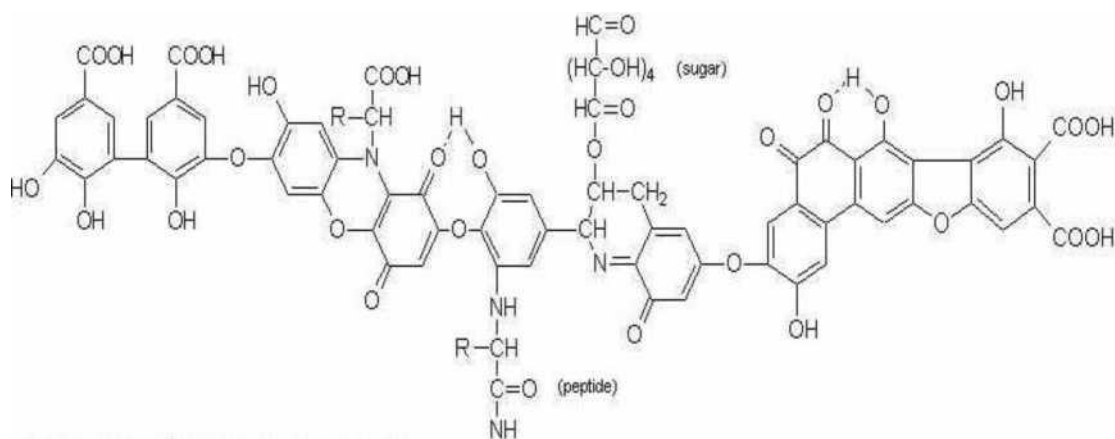


Рис. 2. Будова фрагменту гумінової кислоти за Стивенсоном Ф. (1994)
Джерело: дані [46].

Сучасні структурні моделі гумінових кислот пояснюються з позицій їх біохімічного походження, проте жодна з запропонованих схем будови досі не отримала підтвердження за допомогою сучасних фізико-хімічних методів. Основна складність у визначенні точної структури гумінових кислот полягає в тому, що вони є сполуками змінного складу. Це означає, що заміна окремих структурних фрагментів, кінцевих ланцюгів або функціональних груп у молекулі не змінює суттєво їх загальних хімічних і фізичних властивостей. Через це висловлювалися припущення, що створення однозначної формули гумінових кислот взагалі неможливе [18].

Усі запропоновані молекулярні формули гумінових кислот відображають лише загальний склад сполук. Дослідження показали, що мономер гумінової кислоти має загальну формулу $C_{30}O_5H_{299}N_{16}O_{134}S$, що свідчить про її гетерогенний характер і варіативність структури.

Молекула гумінової кислоти має масу 6364 і складається з негідролізованого ядра та гідролізованої периферичної частини. Ядро збагачене конденсованими ароматичними та гетероциклічними бензойними фрагментами, до складу яких входять кільця бензолу, фурану, нафталіну, антрацену, піролу, індолу, піридину, тіофену та хіноліну. Периферична частина представлена аліфатичними сполуками та вуглеводно-пептидним комплексом.

Елементний склад молекули варіюється у вузьких межах: вуглець (C) становить 52-62%, кисень (O) – 31–39%, азот (N) – 1,7-5%, водень (H) – 2,8-5,8%, сірка (S) – 0,7-1,2%, фосфор (P) – до 0,5% [479]. Молекула також містить 26 карбоксильних груп (COOH-), 34 фенольних і гідроксильних груп, 6 аміногруп (-NH₂) та 7 гетероциклічних атомів азоту. Функціональні групи можуть бути приєднані як до ароматичних кілець, так і до аліфатичних ланцюгів.

У структурі гумінових кислот переважають кисневмісні функціональні групи, які становлять 30–35% маси молекули. Основними з них є карбоксильні (-COOH) та гідроксильні (-OH) групи, водень яких активно бере участь у реакціях заміщення. Це забезпечує кислотні властивості гумінових кислот і їх високу ємність катіонного обміну. Близько 30-40% кисню в молекулах припадає на кисневмісні гетероцикли [28].

Молекула гумінової кислоти може включати від 2 до 15 структурних фрагментів, які утворюють ланцюги, що в природному стані згорнуті в клубки. Ці клубки формують великі агрегати, які складають органічну частину ґрунту. Розміри таких агрегатів досягають 150 Å, що унеможливорює їх проникнення через клітинні мембрани. У природних умовах лише невелика частина гумінових кислот, зокрема фрагменти, які утворюються внаслідок хімічних реакцій у ґрунтовому розчині або під дією мікроорганізмів, здатна проникати в клітини рослин і виконувати функцію стимулятора росту.

Ароматичне ядро, аліфатична периферія та широкий спектр функціональних груп визначають високу реакційну здатність гумінових кислот. Вони активно вступають у різноманітні взаємодії, зокрема іонні, донорно-акцепторні, окисно-відновні та гідрофобні, як із органічними, так і з неорганічними сполуками.

У водному середовищі гумінові кислоти схильні до самоагрегації, утворюючи колоїдні системи. Процес агрегації посилюється зі збільшенням концентрації речовини та в присутності іонів металів, тоді як підвищення рН

уповільнює цей процес [41]. Швидкість руху утворених агрегатів відповідає моделі обмеженої колоїдної агрегації.

Дифузійні властивості гумінових кислот [40], а також їхній амфіфільний характер, сприяють утворенню міцел у водних розчинах з високою лужністю за відносно високих концентрацій [42]. Завдяки цій особливості та широкому діапазону молекулярної маси, точне визначення молярної маси гумінових кислот залишається неможливим. Дійсно, попри численні дослідження, присвячені цій темі, молекулярна маса гумінових кислот досі викликає наукові дискусії.

Як пов'язані структурні особливості гумінових кислот із їхньою біологічною активністю? Встановлено, що певний взаємозв'язок існує, і його було з'ясовано шляхом моделювання різних органічних архітектур, які включають мономери гумінових кислот. До їх складу входять алкільні вуглеводні, поліциклічні ароматичні вуглеводні, органічні аміни, вуглеводні з карбоновими кислотами та фенольними групами, з'єднані кисневими містками, що утворюють гумусоподібні сполуки. З'ясовано, що кожна з мономерних структур інтегрується у відповідні гумусоподібні речовини, причому різні структури забезпечують різний рівень стимуляції рослин. Високу біологічну активність гумінових кислот пов'язують із наявністю фрагментів молекул зі співвідношенням Н/С у межах 0,5-1,0 та О/С у межах 0,2-0,4.

Крім того, біологічна активність гумінових кислот пояснюється їхньою здатністю брати участь у окисно-відновних реакціях у рослинних клітинах, що підсилює ці процеси відповідно до теорії Баха-Паладіна-Сент-Дьйорді [33]. Виділено фрагменти молекул, які відповідають за реакцію рослин на біотичні стреси та інші чинники.

Ще одним важливим параметром, що впливає на біологічну активність гумінових кислот, є «ступінь ароматичності», який відображає вміст хіноїдних груп, фенольних гідроксилів та вільних радикалів. Дослідження впливу гумінових препаратів на вирощування зернових культур дозволили виявити,

що біологічна активність гумінових кислот залежить не лише від ступеня ароматичності, а й від інших структурних параметрів. Зокрема, це гідрофільно-гідрофобний баланс і співвідношення ароматичних і аліфатичних фрагментів у молекулі (параметр ароматичності/аліфатичності) (рис. 3) [12].

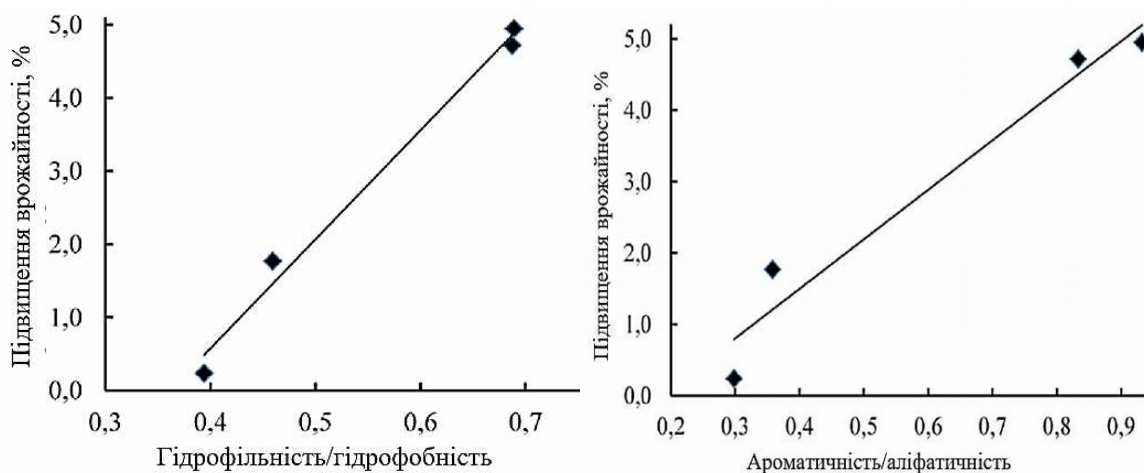


Рис. 3. Зв'язок урожайності пшениці зі структурними параметрами гумінових кислот

Джерело: дані [48].

Дослідження взаємозв'язку біологічної активності гумінових кислот із їх структурними компонентами, проведені авторами [45, 46], базувалися на аналізі врожайності пшениці, а також на змінах у будові коренів томатів і кукурудзи при застосуванні низки природних і модифікованих гумінових речовин, отриманих із різних природних джерел. З'ясовано, що найбільш ефективними є окислені форми гумінових речовин, а також речовини, модифіковані введенням алкільного (CH_3 -) радикала. Висловлено припущення, що гідрофобний домен гумінових кислот містить біологічно активні молекули, подібні до ауксинів. Під час взаємодії з органічними кислотами, які виділяються коренями рослин, відбувається руйнування гідрофобної оболонки й вивільнення цих активних компонентів.

Отже, для максимального ефекту при практичному застосуванні гумінових речовин необхідно спочатку визначити їх елементний склад та

структурно-групові характеристики, зокрема вміст фенольних і хіноїдних функціональних груп, а також ступінь ароматичності компонентів. Це дозволить прогнозувати їх біологічну активність і забезпечить ефективніше використання в агротехнологіях.

1.4 Особливості технологій вирощування озимої пшениці із застосуванням гумінових препаратів

Урожайність озимої пшениці значною мірою залежить від генетичних особливостей сорту та погодних умов у період вирощування. Найвищих результатів можна досягти, використовуючи сорти, адаптовані до умов Південного Степу та Лісостепу України. У таких сортів підвищення врожайності та стійкості до посухи забезпечуються завдяки добре розвиненій кореневій системі, інтенсивній транспірації, стійкості протопласта та підвищеній жаростійкості.

Застосування гумінових препаратів у технологіях вирощування озимої пшениці сприяє реалізації цих переваг, що дозволяє підвищити врожайність і забезпечити стабільність продуктивності навіть у стресових умовах вирощування.

Активність пігментної системи та дегідрогеназ [17] стали ключовими критеріями у виборі сорту пшениці озимої Смуглянка, здатного за сприятливих погодних умов забезпечити врожайність до 8,9 т/га [18]. Сорт розроблений Інститутом фізіології рослин і генетики НААН України спільно з Миронівським інститутом пшениці ім. В. М. Ремесла НААН України. У Реєстрі сортів рослин України Смуглянка зареєстрована з 2004 року, рекомендована для вирощування в зонах Полісся, Лісостепу та Степу України.

Сорт належить до сильних пшениць зернового напрямку. Його основними характеристиками є:

- середня морозостійкість,
- підвищена посухостійкість,
- стійкість до борошнистої роси та бурої іржі.

Рослина має коротке стебло (86-96 см), високу кущистість, напівпрямостоячий кущ, довгий колос (10–12 см), середньої щільності, веретеноподібної форми, білого кольору із шоколадним відтінком та помірним восковим нальотом. Зернівка червона, подовжена, середньої ширини, велика, маса 1000 насінин становить 37,6-46,8 г. Сорт середньоранній, з вегетаційним періодом 278–281 день, і має високу стійкість до вилягання.

Адаптивність сучасних українських сортів озимої пшениці, включаючи Смуглянку, також проявляється у варіативності реакцій на різні типи рельєфу. Це слід враховувати при розробці технологій вирощування для досягнення високих врожаїв. У дослідженні [489] було проаналізовано співвідношення між умовами рельєфу, ростом рослин та вмістом мікроелементів (азоту, фосфору, калію) у зерні пшениці. На прикладі семи українських сортів, зокрема Смуглянки, було доведено, що рельєф значно впливає на ефективність засвоєння поживних елементів із ґрунту, що, у свою чергу, корелює з урожайністю.

Зокрема, вирощування сорту Смуглянка на рівнинах, північних та південних схилах показало такі результати:

- Засвоєння азоту з ґрунту було майже однаковим (66-67%).
- Коефіцієнт використання фосфору на північному схилі був на 65,8% вищим порівняно з рівниною і на 49,2% вищим, ніж на південному схилі.
- Поглинання калію на північному схилі було на 10,8% більшим, ніж на рівнині, але на 6,3% меншим порівняно з південним схилом.

Загалом, найвищий коефіцієнт використання елементів живлення спостерігався на північних схилах, що позитивно впливало на урожайність. Таким чином, ефективне використання поживних речовин із ґрунту безпосередньо корелює з обсягами отриманого врожаю.

Урожайність озимої пшениці сорту Смуглянка на рівнинних ділянках становила 5,9 т/га, на схилі північної експозиції — 6,0 т/га, а найменший врожай отримали на ділянках південної експозиції — 4,0 т/га.

Таким чином, північна експозиція схилу створює сприятливіші умови для росту та розвитку озимої пшениці сорту Смуглянка, ніж рівнинна місцевість. Такий рельєф рекомендовано для вирощування цього сорту як за показниками врожайності зерна, так і за вмістом білка та білковим складом зерна [489].

Одним із важливих елементів технології вирощування озимої пшениці є запобігання вилягання, яке значно знижує продуктивність та якість зерна. Вилягання може виникати через надмірне внесення азотних добрив, особливо в умовах перезволоження та недостатньої інсоляції, що призводить до витягування стебел і втрати їхньої міцності. Додатковими факторами вилягання є засміченість полів в'юнкими бур'янами та ушкодження стебел і коренів грибковими інфекціями.

Для зменшення ризику вилягання важливою умовою є обробка посівів ретардантами, навіть для короткостеблових сортів, таких як Смуглянка. Створення короткостеблових сортів частково вирішило проблему вилягання, але повністю її не усунуло [9, 12].

Ретарданти вже понад 70 років використовуються у вирощуванні зернових культур для регулювання структурного росту рослин. Їхня основна функція полягає в модифікації гормонального балансу, що сприяє підвищенню продуктивності [16, 19]. Застосування ретардантів дозволяє зменшити лінійне зростання рослин пшениці майже на 35%.

Одними з найбільш ефективних ретардантів є ацилциклогексادیони, які інгібують 3β -гідроксилювання та утворення активних гіберелінів із неактивних похідних. Вони сприяють розвитку кореневої системи пшениці, що підвищує ефективність використання вологи та поживних елементів. Крім того, ці речовини зменшують подовження клітин, блокують біосинтез гіберелової кислоти та зміцнюють структуру стебел, запобігаючи вилягання.

Своєчасне застосування ретардантів може не лише запобігти вилягання, але й підвищити врожайність пшениці за рахунок перерозподілу сухої речовини навіть при помірних рівнях вилягання [4, 5].

Морфологічні зміни в архітектурі рослин сприяють підвищенню врожайності зернових культур [6, 7], завдяки кращій адаптації до змінних умов навколишнього середовища та ефективнішому використанню ресурсів, таких як сонячне випромінювання, що стимулює накопичення фотосинтетичних пігментів. У дослідженні [498] було встановлено, що показники фотосинтетичної активності тісно корелюють із продуктивністю зернових культур.

Робота [499] висвітлює зв'язок між рівнем хлорофілу у листках озимої пшениці сорту Смуглянка та врожайністю за умов використання ретарданту Медакс Топ, комплексу макро- та мікроелементів Мегафол (Valagro, Італія) та мінерального добрива N120P80K120. Було з'ясовано, що вміст хлорофілу у листках на контрольних ділянках був на 4% нижчим порівняно з ділянками, де використовували вказані препарати. Комплексне живлення посівів забезпечило приріст урожайності на 4,3%.

Аналогічну кореляцію відзначено у дослідженні [500], проведеному на ярому ячмені. Збільшення вмісту хлорофілу у листках на 13,5% супроводжувалося приростом урожайності на 12,7%.

Водночас важливим чинником, що спричиняє зниження врожайності озимої пшениці, є збіднення ґрунтів на елементи живлення через недостатнє внесення мінеральних та органічних добрив, а також через неправильний вибір попередників. Зокрема, до 25% посівів озимої пшениці розміщуються після стерньових попередників, включаючи соняшник, що негативно впливає на продуктивність культури. [50].

Недостатнє азотне живлення призводить до зменшення інтенсивності кущення та підвищення редукції потенційно продуктивних пагонів, що в результаті знижує врожайність [50, 53]. При використанні мінеральних добрив особливу увагу приділяють забезпеченню азотного живлення, створюючи умови, за яких озима пшениця отримує достатню кількість азоту протягом усього періоду вегетації.

Як показали численні дослідження [54, 55, 56], значний вплив на врожайність зернових культур має не лише використання чистих азотних добрив, але й сумішей, що містять NPK і гумінові речовини [57, 58]. Наприклад, збільшення врожайності озимої пшениці на 20–23% було досягнуто завдяки одночасному використанню гумінових препаратів 5R SoilBoost і 4R Foliar Concentrate у суміші з аміачною селітрою. Використання цих же гуматів із карбамідно-аміачною сумішшю в різні фази розвитку озимої пшениці забезпечило приріст урожайності на 8,0-21,4% [56].

Дослідження [59] показало, що поєднання добрив із гуміновими кислотами, NPK, цинком, сіркою та марганцем у технології вирощування озимої пшениці забезпечило приріст урожайності на 48,6%. Крім того, у роботі [46] зазначено, що комбіноване використання органічних і мінеральних добрив разом із гуміновими речовинами підвищило врожайність зерна пшениці на 27%. Навіть застосування гуматів у чистому вигляді сприяло зростанню врожайності на 6,52–7,52% [50, 51].

Сумісне застосування азотних добрив і гумінових стимуляторів, як зазначено у роботі [52], покращило показники структури та якості врожаю озимої пшениці. Зокрема, було відзначено збільшення кількості зерен у колосі, їхньої маси, а також підвищення вмісту білків і клейковини.

Чому ж суміші гумінових речовин і мінеральних добрив настільки ефективні? Автори досліджень [53, 54] встановили, що взаємодія гумінових речовин із мінеральними компонентами відбувається здебільшого завдяки карбоксильним і гідроксильним функціональним групам. Це сприяє утворенню гетерополярних комплексів типу "мінеральний компонент (N, P, K) – гуміновий фрагмент". У цих комплексах елементи N, P і K виступають як комплексоутворювачі, а молекули гумінових кислот виконують роль лігандів. Така взаємодія забезпечує кращу доступність поживних речовин для рослин і підвищує ефективність їх засвоєння.

Такі гетерополярні комплекси впливають на рослини двома основними шляхами: безпосередньо через листову поверхню та кореневу систему, а також

шляхом підвищення біологічної активності ґрунту. Їхній вплив має складний багатоступеневий характер, охоплюючи весь період вегетації рослин.

Потрапляючи в рослини через целюлозну оболонку корневих волосків, компоненти сумішей активізують ферментативну діяльність клітин і стимулюють утворення біологічно активних сполук самою рослиною. Це призводить до зростання енергетичного потенціалу клітин, зміни фізико-хімічних властивостей протоплазми, інтенсифікації обмінних процесів і збільшення проникності клітинних мембран кореня. У кореневій системі підсилюється синтез органічних речовин, таких як амінокислоти, цукри, вітаміни тощо. Частина цих речовин виділяється коренями в ґрунт. Чим активніше метаболізм рослини та потужніша коренева система, тим більше корневих виділень, які сприяють розчиненню важкодоступних речовин у ґрунті, зокрема через вплив органічних кислот (вугільної, яблучної тощо).

При позакореновому внесенні гумінових речовин шляхом обприскування, основною перешкодою для їх засвоєння є кутикула листя. У багатьох рослин кутикула зовнішньої поверхні листка має переривчасту структуру у вигляді лусок, розташованих паралельно стінкам епідермісу. Від епідермісу відходять канали, заповнені пектиновими речовинами, які можуть слугувати шляхами для проникнення водних розчинів. Інший механізм проникнення гумінових кислот через листя забезпечується наявністю продихів та міжклітинних прошарків мезофілу.

Низькомолекулярні гумінові сполуки зазвичай проникають через листову поверхню зі швидкістю 2–10 мм/добу. Високомолекулярні гумінові речовини проникають у клітини поступово: великі молекули розпадаються на менші фрагменти, які поетапно транспортуються через мембрани в цитоплазму, де включаються в обмінні процеси [55].

Щодо проникнення гумінових кислот безпосередньо в клітини, тривалий час існувала гіпотеза, запропонована Христевою Л. А. [56]. Згідно з нею, гумінові кислоти потрапляють у рослину в іонно-дисперсному стані, беруть участь в обміні речовин, досягаючи важливих органел клітини, таких

як ядра, мітохондрії, хлоропласти. На певних етапах розвитку вони виконують функції оксигеназ, залучаючи додатковий кисень до обмінних процесів, що, у свою чергу, сприяє... посилюють оксидативний обмін, що, своєю чергою, підвищує енергетичний потенціал і загальну життєздатність організму.

Отже, визначено основні чинники, що найбільше впливають на продуктивність озимої пшениці і які слід враховувати при плануванні досліджень. Також було розглянуто та проаналізовано механізми дії гумінових речовин і шляхи їх проникнення в рослини, які зумовлюють високу біологічну активність цих сполук.

РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТ, ПРЕДМЕТ ТА УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Об'єкт та предмет досліджень

Застосування гумінових препаратів у технологіях вирощування озимої пшениці сприяє реалізації цих переваг, що дозволяє підвищити врожайність і забезпечити стабільність продуктивності навіть у стресових умовах вирощування.

Об'єкт дослідження. Процеси росту, розвитку та продуктивності пшениці озимої за умов вирощування в фермерському господарстві «Прогрес» Кам'янського району Дніпропетровської області.

Предмет дослідження. Вплив гумінового препарату 5R SoilBoost, NH_4NO_3 + 5R SoilBoost, суміші КАС + 5R SoilBoost порівняно з використанням чистих мінеральних добрив на агробіологічні показники росту і розвитку пшениці озимої, формування її врожайності, якісні характеристики зерна та економічну ефективність вирощування в умовах фермерського господарства.

2.2. Умови проведення досліджень

Полеві дослідження проводилися в умовах ФГ «Прогрес» Кам'янського району Дніпропетровської області.

Основними ґрунтоутворюючими породами в районі діяльності ФГ «ПРОГРЕС» є леси бурувато-палеві, порівняно рихлі, карбонатні. Механічний склад їх за профілем неоднорідний: до глибини 140-180 см середньосуглинковий, до 400-450 см- нерідко важкосуглинковий, глибше - легкосуглинковий. Виділення гіпсу і легкорозчинних солей за профілем до глибини 6-7 м не знайдені. Ґрунтові води у вододілах та схилах залягають глибоко (8-12 м і глибше), по днищах балок їх рівень підіймається до 4-6 м.

У ґрунтовому покриві домінують чорноземи звичайні мало гумусні важкосуглинкові і чорноземи звичайні мало гумусні середньосуглинкові. На

цих ґрунтах розміщується основна частина агротехнічних дослідів і виробничих посівів. Невеликі площі представлені чорноземами звичайними середньо- і сильноеродованими і намитими, а також лугово-чорноземними ґрунтами.

Скипання від 10%-ної соляної кислоти виявляється з глибини 4 см, карбонати у вигляді цвілі - з 64 до 95 см, у вигляді білоочки - з 95 см.

Механічний склад чорноземів ділянки середньо- і рідко важкосуглинковий. Вміст фізичної глини (частинок менше 0,01 мм) складає 43-48%, мулистої фракції (частинок менше 0,001 мм) -27-31 %.

Найбільш розповсюдженими являються чорноземи звичайні малогумусті. З таблиці видно, що реакція ґрунтового розчину ґрунтів господарства нейтральна (рН 6,8-7,0). Вміст гумусу у верхньому горизонті ґрунті коливається від 3,18 до 3,35%.

Таблиця 3

Агрохімічна характеристика ґрунтів господарства

Тип ґрунтів	Орний шар, см	Уміст гумусу, %	Уміст рухомих форм, мг/100 г ґрунту			Щільність ґрунту, г/см ³	рН
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O		
Чорнозем звичайний мало гумусний важкосуглинковий	25-45	3,35	2,1	12,5	15,0	1,9	6,8
Чорнозем звичайний мало гумусний середньосуглинковий	25-35	3,18	1,9	13,1	20,1	1,8	7,0

Отже, з наведених даних таблиці 3 видно, що у господарстві сприятливі умови для вирощування сільськогосподарських культур, в тому числі і овочевих за характеристиками ґрунтових умов.

ФГ «Прогрес» Дніпропетровської області розташований в континентальній кліматичній зоні. Радіаційний баланс складає 4500 кДж/м². Пересічна температура липня складає +22...+28°C, а в січні сягає -3...-9°C.

Тривалість безморозного періода складає 170-205 днів. Тривалість періоду із температурами повітря навколишнього середовища вище 10°C - 160-170 днів. Тривалість періоду з температурами навколишнього середовища вище 15°C складає 115-120 днів, сума температур при цьому становить 2200-2300°C. Весняні заморозки закінчуються в другій декаді травня, а осінні починаються в першій декаді жовтня. В таблиці 4 наведені данні про середньомісячні і середньорічні температури повітря.

Таблиця 4

Середньомісячна та середньорічна температура повітря, °C
(данні Дніпропетровської метеостанції)

Рік	Місяці												Середня зарік
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2023	-6,0	-3,8	1,4	12,8	19,2	23,0	24,9	22,8	15,9	10,6	1,0	-3,7	9,8
2024	-2,0	-4,6	2,9	13,7	18,4	24,0	25,7	21,9	15,7	9,8	-0,8	-3,0	10,6
Середньо багаторіч на	-5,2	-4,3	2,0	13,9	19,2	23,2	25,8	22,8	15,9	10,5	1,0	-2,8	10,1

За рік по господарству випаровування досягає до 500 мм, в тому числі за літній період до 400 мм . На момент переходу температури через +15°C в метровому шарі ґрунту запас продуктивної вологи складає 100-120 мм. З настанням теплого періоду запас зменшується до 30-40мм. Літнє випаровування перевищує надходження вологи. Коефіцієнт зволоження від 0,7-1,1 (менше 1- не промивний режим). Розподілення опадів нерівномірне, як по порам року так і по рокам. В таблиці 2.3 наведена кількість атмосферних опадів по рокам і розподіл їх по місяцям.

Зима (температура повітря менше 0°C) - малосніжна, з відлигами. Сніжний покрив не стійкий. Переважає досить похмура погода із випаданням вкрай слабких опадів. Найбільш холодний період року - січень-лютий з

середньомісячною температурою $-2...-9^{\circ}\text{C}$. Переважний напрямок вітрів східний і північно-східний з швидкістю 4-10 м/с.

Таблиця 5

Кількість атмосферних опадів і розподіл їх по місяцям року, мм (данні Дніпровської метеостанції)

Рік	Місяці												За рік
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2023	52,8	32,8	42,0	91,8	39,9	67,0	76,8	18,0	76,8	34,8	18,0	40,2	591
2024	70,0	41,0	9,1	35,5	-	-	-	35,3	6,0	5,5	-	-	
Середня багато річна	58,5	45,2	28,6	42,8	20,5	63,5	66,7	18,4	49,9	31,9	27,9	40,2	678,6

Весна (температура повітря $0.. +15^{\circ}\text{C}$) характеризується сильними вітрами, поверненням приморозків. Нічні приморозки до $-4...-6^{\circ}\text{C}$ нерідко бувають в кінці квітня, і навіть в травні. Просушування ґрунту протікає інтенсивно, що викликає необхідність в проведенні польових робіт в найкоротший термін.

Літо (температура повітря вище $+15^{\circ}\text{C}$) в середньому триває біля 127 днів. Погода сонячна, малохмарна. Опади мають зливовий характер, максимальна їх кількість припадає на червень-липень.

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

3. 1. Дослідження впливу гумінових препаратів та їх сумішей із мінеральними добривами на біометричні та морфометричні показники рослин пшениці озимої в умовах закритого ґрунту

На сьогодні існує велика кількість стимуляторів росту, які широко застосовуються в рослинництві. У рамках цього дослідження було обрано один із препаратів, розроблених американською компанією «SoilBiotics», — гуматне добриво 5R SoilBoost EA. Унікальність даного препарату полягає у високому вмісті гумінової кислоти (84,17 %), що є найбільшим показником серед усіх продуктів «SoilBiotics». Це гранульований продукт, який можна використовувати як у чистому вигляді, так і в суміші з мінеральними добривами. Препарат легко засвоюється в будь-якому типі ґрунту за наявності опадів [17].

Схема досліду передбачала такі варіанти удобрення ґрунту:

1. Контроль (без внесення добрив).
2. Аміачна селітра (розчин, концентрація 0,025 моль/л).
3. 5R SoilBoost EA (гранули, 0,05 г на 100 г ґрунту).
4. Суміш аміачної селітри та 5R SoilBoost EA (у співвідношенні 1:1).

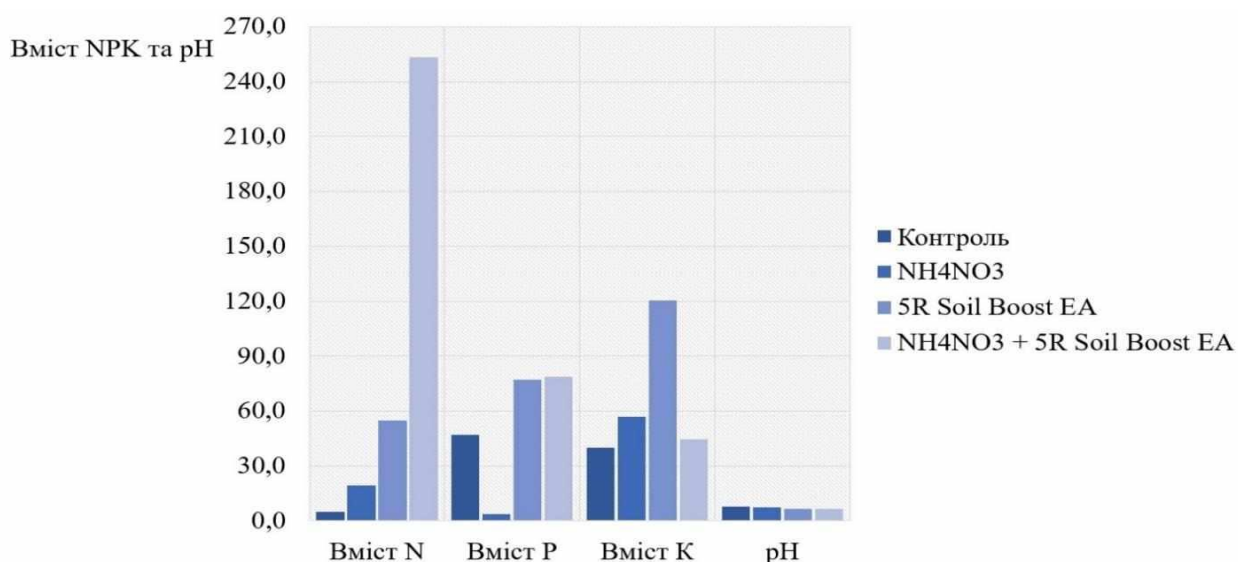


Рис. 4. Результати аналізу дослідних ґрунтових субстратів щодо вмісту азоту (N), фосфору (P), калію (K) (г/м³) та показника кислотності (pH).

Дослідження були спрямовані на вивчення впливу зазначених варіантів удобрення на біометричні та морфометричні показники рослин пшениці озимої.

Після внесення добрив було проведено визначення вмісту основних елементів живлення, таких як азот, фосфор та калій, а також показника рН у ґрунтовому субстраті (рис. 4). Аналіз вмісту поживних речовин (N, P, K) у ґрунті дослідних зразків здійснювався за допомогою тест-набору LaMotte SOIL NPK KIT.

У підготовлений відповідно до вказаних варіантів ґрунт у пластикових лотках було висіяно насіння пшениці озимої сорту Смуглянка (по 50 насінин у кожному варіанті). Пророщування здійснювалося в тепличних умовах за температури повітря 18 ± 2 °C та відносної вологості 85–90 % протягом 14 днів.

3.2 Визначення біометричних і морфометричних показників рослин пшениці озимої

Відомо, що гумінові речовини регулюють низку фізіологічних процесів у рослин, зокрема проростання насіння та розвиток кореневої системи [58, 59]. Проте досі не встановлено, які саме структурні особливості гумінових речовин зумовлюють їх специфічну стимулюючу дію. Дослідження, присвячені проростанню насіння таких культур, як кукурудза [50] і рис [52], підтвердили стимулюючу дію гумінових речовин, використаних для обробки насіння. Основним фактором, що сприяє прискоренню проростання насіння, є наявність фенольних фрагментів у структурі гумінових сполук [50].

Водночас низькомолекулярні феноли, такі як пара-кумарова кислота і пара-гідроксибензойна кислота, які поширені в ґрунтах, можуть чинити інгібуючу дію на проростання насіння, блокуючи гліколіз та окислювальний пентозофосфатний шлях. На противагу цьому, полімеризовані феноли, які структурно подібні до гумінових сполук, мають стимулюючий ефект на проростання насіння. Ця різниця у властивостях пов'язана зі ступенем

полімеризації, що вказує на важливу роль молекулярної маси гумінових речовин у їх дії на ферменти на основі фенолу.

У проведеному нами дослідженні через 4 доби після початку експерименту визначали енергію проростання насіння, а через 8 діб — відсоток схожості, згідно з методикою (рис. 2). Ці показники є ключовими для оцінки якості насіння. Енергія проростання характеризує швидкість проростання насіння, тоді як схожість насіння визначається як відношення кількості пророслого насіння до загальної кількості висіяного, оцінюється в лабораторних умовах і виражається у відсотках. Швидке проростання в лабораторних умовах свідчить про високу якість насіння, яке формує міцні та стійкі проростки, здатні витримувати несприятливі умови навколишнього середовища під час сівби в полі. Насіння з високою енергією проростання забезпечує дружні та рівномірні сходи в польових умовах. Отримані дані наведені в таблиці 6.



Рис. 5 Схожість насіння пшениці озимої сорту Смуґлянка при удобренні ґрунту

Можна припустити, що обробка рослин гуміновими препаратами або їх сумішами сприятиме посиленню розвитку кореневої системи. Завдяки селективності протоплазматичних мембран у таких рослин відбуватиметься інтенсивніше надходження води та поживних елементів.

Присутність гумінових речовин значно стимулює проліферацію бічних коренів [5, 52]. Існує три основні механізми, які пояснюють стимуляцію росту коренів. По-перше, гормоноподібні органічні структури, зокрема ауксини, активують специфічні гормональні шляхи в рослинах [56]. По-друге, деякі дослідники припускають, що важливішим фактором є загальний розподіл органічних функціональних груп, таких як феноли та карбонові кислоти, у молекулах гумінових речовин [53].

Більше того, структурні характеристики гумінових речовин, що відповідають за стимуляцію кореневої системи, можуть бути різними залежно від умов. Як...Згідно з дослідженням [58], лабільні та функціональні органічні групи гумінових речовин беруть участь у процесі формування коренів, тоді як менш активні структурні фрагменти гумінових кислот сприяють подовженню кореневої системи. Нещодавно також повідомлялося про структурні елементи гумінових сполук, які стимулюють саме подовження коренів. Було доведено, що аліфатичний -ОН лігніну відіграє вирішальну роль у стимуляції розвитку сходів кукурудзи, не впливаючи на швидкість проростання [59].

Крім того, у присутності гумінових сполук утворюється оксид азоту, який сприяє розвитку бічних коренів. Цікавим є той факт, що поглиначі оксиду азоту, а не інгібітори ауксину, ефективно блокують розвиток коренів, стимульований гуміновими речовинами. Це вказує на те, що гумінові кислоти активують ауксин-незалежні шляхи розвитку [50].

Ще одним механізмом є посилення енергетичного метаболізму завдяки збільшенню експресії білків, що беруть участь у цьому процесі [57]. Таким чином, підвищення доступності енергії може бути пов'язане з проліферацією клітин кореня. Ці механізми припускають, що ключові біологічні фактори, такі як оксид азоту та енергетичний обмін, є необхідними для зміни розвитку

кореневої системи. Проте ідентифікація структурних частин гумінових сполук, відповідальних за активацію цих факторів, залишається недостатньо вивченою.

Через 14 днів експерименту були проведені біометричні вимірювання, зокрема визначено основні параметри росту: середню довжину коренів та висоту пагонів. Ці показники вимірювали з точністю до 0,1 см. Біометричні вимірювання виконувалися в трикратній повторності для 10 рослин одного фізіологічного віку (таблиця 6).

Морфометричні параметри біомаси надземної частини рослин пшениці оцінювали шляхом зважування проростків після вилучення їх із ґрунту, очищення від залишків ґрунту та просушування на фільтрувальному папері. Зважування проводили на лабораторних терезах ТВЕ-021-0,001 із точністю $\pm 0,001$ г (таблиця 6).

Таблиця 6

Вплив удобрення ґрунту на посівні якості насіння та біометричні показники рослин пшениці озимої, сорт Смуглянка

Варіант досліджу	Енергія проростання,	Схожість, %	Довжина коренів,	Висота пагонів,	Біомаса, г
Контроль	94,5	95,1	2,5	8,5	0,201
NH ₄ NO ₃	95,1	96,3	2,2	9,7	0,222
5R SoilBoost	96,1	97,6	3,8	9,1	0,248
NH ₄ NO ₃ + 5R Soil Boost EA	98,2	99,1	4,4	10,2	0,314

Як показано в таблиці 6, застосування гумінового препарату 5R SoilBoost EA як у чистому вигляді, так і в суміші з аміачною селітрою, продемонструвало позитивний ефект. Найкращий результат спостерігали при використанні суміші NH₄NO₃ + 5R SoilBoost EA. Енергія проростання в цьому варіанті зроста на 3,8%, а схожість насіння — на 4,1% порівняно з контролем.

Внесення аміачної селітри також підвищувало енергію проростання та схожість насіння, проте ці показники були нижчими, ніж у варіанті з

гуміновим препаратом: енергія проростання зросла на 1,7%, а схожість насіння — на 2,6%.

Дані таблиці 3 також показали, що довжина кореневої системи збільшувалася на 52% при додаванні 5R SoilBoost EA і на 76% при сумісному внесенні NH_4NO_3 + 5R SoilBoost EA. Висота пагонів у цьому варіанті перевищувала контрольні значення майже на 20%.

Ці результати добре корелюють із даними літератури [6], де зазначалося, що гумінові препарати можуть збільшувати сумарну довжину кореневої системи на 37–74%, внаслідок додавання гумінових препаратів. Слід відмітити, незначне (12 %) зменшення відносно контролю довжини кореня у пагонів, які зростали на ґрунті, удобреному NH_4NO_3 , але висота надземної частини у цих рослин виявилась більшою на 14 % порівняно з контролем і на 6,6 % відносно рослин, що зростали на ґрунті, удобреному чистим гуміновим добривом 5R SoilBoost EA. Максимальний ефект спостерігали у рослин, які зростали на ґрунті, де застосовували суміш NH_4NO_3 + 5R SoilBoost EA, висота пагонів яких перевищувала контроль майже на 20 %. Отримані біометричні показники добре узгоджуються з величинами енергії проростання та схожості насіння, ґрунт для яких удобрювали також зазначеною сумішшю.

Питання про вплив збільшення біомаси надземної частини рослин на ранніх етапах весняної вегетації на зростання врожайності активно дискутується в літературі. Зокрема, вважають, що воно може бути пов'язане з кращою роботою фотосинтетичного апарату рослин з високою біомасою. В наших експериментах збільшення біомаси спостерігалось за всіма варіантами удобрення ґрунту, на яких зростали паростки пшениці. Найкращі морфометричні показники були зафіксовані у рослин, де в ґрунт, перед висіванням насіння, вносили як чистий гуміновий препарат 5R SoilBoost EA, так і його суміш з NH_4NO_3 . Збільшення біомаси таких рослин порівняно з контролем становило 23,5 і 56,5 %, відповідно.

3.3. Визначення вмісту фотосинтетичних пігментів у рослинах озимої пшениці

Приготування витяжки пігментів

Через 14 днів, після формування потужної зеленої маси, були зрізані кілька зелених листків без видимих пошкоджень для отримання гомогенату. Наважка рослинного матеріалу становила 500 мг. Після зважування листя подрібнили в порцеляновій ступці, додавши 10 см³ 96% етилового спирту та невелику кількість кварцового піску для покращення подрібнення тканини. Отриманий гомогенат кількісно перенесли в мірну колбу об'ємом 25 см³, профільтрували через паперовий фільтр із білою стрічкою та довели об'єм до мітки етиловим спиртом.

Вимірювання оптичної щільності

Для визначення вмісту фотосинтетичних пігментів використовували традиційний метод екстракції розчинником із подальшим спектрофотометричним аналізом «*in vitro*». Цей метод дозволяє розрахувати концентрацію пігментів на основі експериментальних даних про оптичну щільність та відомих коефіцієнтів світлопоглинання для кожного пігменту при певній довжині хвилі.

Вміст хлорофілів а та b і каротиноїдів визначали в отриманій витяжці без попереднього розділення пігментів. Оптичну щільність екстракту вимірювали на фотометрі КФК-3 при довжинах хвиль, що відповідають максимумам поглинання:

- Хлорофіл а — 665 нм,
- Хлорофіл b — 649 нм,
- Каротиноїди — 470 нм.

Спектральний діапазон вимірювань фотометра КФК-3 становить 315–990 нм, а спектральний інтервал, який виділяється монохроматором, не перевищує 7 нм. Похибка вимірювань оптичної щільності становила 0–3%.

Розрахунок вмісту пігментів

Концентрації хлорофілів а та b і каротиноїдів в етанольних екстрактах розраховували за формулами, наведеними в роботі.

$$C_{\text{хл } a} = [(13,95/D_{665} - 6,88/D_{649}) \cdot V] / m,$$

$$C_{\text{хл } b} = [(24,96/D_{649} - 7,32/D_{665}) \cdot V] / m,$$

$$C_{\text{кар}} = [1000D_{470} - V/m - 2,05C_{\text{хл } a} - 114,8C_{\text{хл } b}] / 245,$$

де $C_{\text{хл } a}$, $C_{\text{хл } b}$, $C_{\text{кар}}$ - кількість хлорофілів а, b і каротиноїдів у мг/г сирової речовини;

D_{665} , D_{649} и D_{470} - оптична щільність спиртового екстракту пігментів при довжинах хвиль (нм) відповідно 665, 649 та 470;

M - маса наважки, мг;

V - об'єм етанолу, см³.

Отримані результати представлені на рис. 6.

Фотосинтетична активність зернових культур є ключовим фактором їх продуктивності й значною мірою визначається вмістом пігментів у рослинах. Зелені пігменти, хлорофіли а і b, відіграють особливу роль, оскільки вони є чутливими індикаторами фізіологічного стану рослин. Їх кількість свідчить про потенційну здатність рослин формувати біологічний урожай. Згідно з нашими дослідженнями, застосування гумінового препарату 5R SoilBoost EA, як самостійно, так і в комбінації з азотним добривом шляхом внесення в ґрунт, спричинило помітні зміни у складі пігментів рослин.

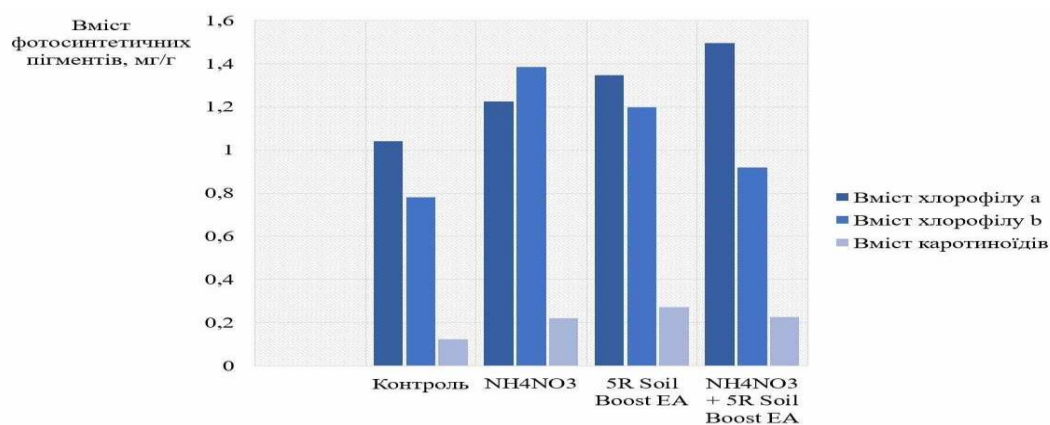


Рис. 6. Вміст фотосинтетичних пігментів в рослинах пшениці озимої сорту Смуглянка залежно від варіанту удобрення ґрунту, мг/г сирової речовини

Гумінові речовини здатні впливати на фотосинтетичні процеси як прямо, так і опосередковано. Прямий вплив пов'язаний з активацією протонної помпи хлоропластів, тоді як опосередкований проявляється у збільшенні розміру фотосинтетичних одиниць фотосистеми та кількості реакційних центрів на одиницю площі листка, що обумовлено впливом гумінових речовин на білоксинтезуючу систему. Обидва механізми сприяють підвищенню асиміляції вуглекислого газу, покращенню фотосинтетичної продуктивності та, зрештою, приросту врожаю. Дослідженнями ряду авторів [33, 34] підтверджено, що гумінові речовини можуть ефективно діяти як екзогенні регулятори фотосинтетичних процесів.

У наших дослідках майже у всіх варіантах відзначалося підвищення вмісту хлорофілів а і b та каротиноїдів порівняно з контролем, що свідчить про створення сприятливіших умов для життєдіяльності рослин. Проте співвідношення між вмістом цих пігментів у кожному варіанті було різним.

Максимальне збільшення вмісту хлорофілу а (43,6%) та каротиноїдів (у 1,5 раза) спостерігалось при сумісному внесенні в ґрунт суміші NH_4NO_3 + 5R SoilBoost EA. Ці результати пояснюються підвищеним вмістом нітрогену та фосфору в ґрунті (рис. 3), що сприяли більш інтенсивній роботі фотосинтетичного апарату рослин пшениці. Найвищий вміст хлорофілу b (53,3%) було зафіксовано у рослин, вирощених на ґрунті, удобреному гуміновим препаратом 5R SoilBoost EA, завдяки якому вміст калію в ґрунті перевищував контрольні показники майже в три рази.

Таким чином, удобрення ґрунту перед висівом насіння озимої пшениці сорту Смуглянка гуміновим препаратом 5R SoilBoost EA у поєднанні з азотним добривом сприяло інтенсифікації ростових процесів на початкових стадіях вегетації. Це проявлялося в активному розвитку кореневої системи, підвищеній біомасі проростків та загальному прискоренні росту рослин. Крім того, вміст основних пігментів фотосинтетичного апарату пшениці змінювався залежно від поживного складу ґрунтового субстрату. Максимальний ефект було досягнуто у рослин, що росли на ґрунті,

удобреному сумішшю аміачної селітри та гумінового препарату 5R SoilBoost EA.

3.4. Проведення польового дослідження для оцінки ефективності гумінових препаратів у технології вирощування озимої пшениці

Для підтвердження доцільності використання гумінових препаратів у польових умовах на різних культурах, зокрема озимій пшениці, необхідно оцінити їхній вплив на продуктивність. Відомо, що сумісне застосування стимуляторів росту та мінеральних добрив покращує родючість ґрунту за рахунок підвищення вмісту поживних речовин, покращує структуру, волого- і повітрообмін. Гумінові речовини додатково підвищують ефективність поглинання поживних речовин рослинами, проникаючи через клітинні мембрани і регулюючи механізми росту рослин.

Для польового дослідження використовували пшеницю озиму сорту Смуглянка, як і в експериментах у закритому ґрунті.

Характеристика ґрунту дослідної ділянки

Ділянка представлена чорноземом типовим важкосуглинковим із вмістом гумусу в орному шарі 4,9–5,0%, рН = 5,6. Вміст основних поживних елементів:

- Фосфор — 8,8 мг/кг,
- Загальний азот — 14,4 мг/кг (лужногідролізований — 10,1 мг/кг),
- Калій — 68,5 мг/кг.

Через низький вміст азоту в ґрунті (14,4 мг/кг) у сівозміні використовували бобово-злакові суміші, що сприяли накопиченню доступних форм поживних речовин, особливо азоту. В експерименті попередником був горох, рослинні залишки якого були закладені у ґрунт шляхом дискування на глибину 8–10 см. Після цього вносили мінеральні та комбіновані добрива. Друге внесення добрив проводили після висіву насіння.

Схема досліду

У польовому досліді тестували наступні варіанти удобрення:

1. Аміачна селітра — 120 кг/га.
2. Карбамідно-аміачна суміш (КАС-32) — 100 кг/га.
3. 5R SoilBoost EA (гранули) — 11 кг/га.
4. Суміш аміачної селітри та 5R SoilBoost EA (1:1).
5. Суміш КАС та 5R SoilBoost EA (1:1).

Доцільність використання гумінового препарату 5R SoilBoost EA була обґрунтована результатами експериментів у закритому ґрунті.

Технологія вирощування

Для запобігання ураження насіння поширеними хворобами (кореневою гниллю, твердою сажкою, бурюю листовою іржею) перед сівбою проводили протруювання насіння препаратом Раксил Ультра FS (0,2 л/т).

Спосіб сівби — звичайний рядковий, із нормою висіву 4,5–5,0 млн схожих насінин на гектар. Глибина загортання насіння становила 6–8 см, після чого проводили коткування. Посівна площа ділянки становила 1 га, облікова — 0,8 га. Дослід проводили в трикратній повторності з рендомізованим розміщенням варіантів.

Захист посівів

Для боротьби з бур'янами використовували гербіцид Гроділ Максі (йодосульфурон, амідосульфурон, антидот мефенпір-діетил) у дозі 100 г/га. Для захисту від шкідників застосовували інсектицид Акцент (диметоат) у дозі 1,5 л/га, а для профілактики грибкових захворювань — фунгіцид Імпакт 25 SC (флутриафол) у дозі 0,5 л/га.

Визначення строків стиглості

Строки повної стиглості зерна визначали еозиновим методом, Метод базується на біологічному зв'язку між фазою стиглості зерна та інтенсивністю транспірації рослин. Для цього свіжозрізані колосся (15-20 см із соломою) занурювали в 1% розчин еозину на 3 години. За ступенем забарвлення визначали фазу стиглості:

- Інтенсивно червоне забарвлення — молочна стиглість,
- Слабке забарвлення окремих колосків — воскова стиглість,
- Відсутність забарвлення — повна стиглість.

Збирання врожаю проводили у фазі повної стиглості.

3.5. Вплив варіантів удобрення на вміст основних елементів живлення у ґрунті орного шару

У роботі проведено дослідження впливу мінеральних добрив та їх сумішей з гуміновим препаратом 5R SoilBoost на вміст азоту, фосфору і калію у верхньому шарі ґрунту 0-20 см. Результати визначень представлені в таблиці 7.

Таблиця 7

Вміст елементів живлення в ґрунті при різному удобренні, мг/кг ґрунту

Варіант досліджу	N загальний	N легкогідролізуємий	P	K
Контроль	14,4	10,1	8,8	68,5
NH ₄ NO ₃	17,0	11,9	9,6	76,8
KAC	17,6	12,3	10,2	78,5
5R Soil Boost	18,7	13,1	11,7	79,2
NH ₄ NO ₃ + 5R Soil Boost	21,0	14,7	12,1	107,1
KAC + 5R Soil Boost	22,1	15,4	13,0	109,2

З наведених даних видно, що застосування різних форм добрив суттєво вплинуло на вміст основних елементів живлення в орному шарі ґрунту. На ділянках, удобрених аміачною селітрою та карбамідно-аміачною сумішшю (KAC), вміст легкогідролізованого азоту перед сівбою був близьким і становив 11,9–12,1 мг/кг ґрунту. Порівняно з контролем, внесення аміачної селітри збільшило вміст азоту на 17,8%, а KAC — на 21,8%.

Додавання гумінового препарату 5R SoilBoost до мінеральних добрив сприяло подальшому накопиченню азоту в ґрунті. Вміст цього елемента зріс на 23,5% у разі використання суміші NH₄NO₃ + 5R SoilBoost і на 25,2% при внесенні суміші KAC + 5R SoilBoost порівняно з використанням чистих мінеральних добрив.

Фосфор, як один із ключових елементів живлення, є важливим для енергетичних процесів у клітинах рослин і формування кореневої системи. Особливо озима пшениця потребує фосфору на ранніх етапах розвитку, коли формуються корені, оскільки забезпечення цим елементом у пізніші періоди не компенсує його нестачі. Моніторинг рівня фосфору в ґрунті показав, що внесення суміші 5R SoilBoost + NH_4NO_3 збільшило його вміст на 26,0%, а суміші 5R SoilBoost + КАС — на 27,4% порівняно з ґрунтами, удобреними лише NH_4NO_3 або КАС.

Внесені добрива також вплинули на підвищення вмісту обмінного калію. Максимальний приріст калію спостерігався при використанні сумішей мінеральних добрив із гуміновим препаратом 5R SoilBoost: на 39,4% у разі внесення NH_4NO_3 + 5R SoilBoost порівняно з чистою аміачною селітрою і на 39,1% у разі внесення КАС + 5R SoilBoost порівняно з чистою КАС.

На ділянках, удобрених лише гуміновим препаратом 5R SoilBoost, рівень калію перевищував показники ділянок із внесенням лише мінеральних добрив (КАС або NH_4NO_3) на 1–3%, а контрольних ділянок — на 15,6%.

Таким чином, максимальний вплив на накопичення поживних елементів у ґрунті перед висівом пшениці мали суміші мінеральних добрив NH_4NO_3 + 5R SoilBoost і КАС + 5R SoilBoost.

3.6. Вплив варіантів удобрення на елементи структури врожаю та врожайність озимої пшениці сорту Смуглянка

Елементи структури врожаю включають продуктивні органи та ознаки рослини, які формують і визначають обсяг врожаю. Для озимої пшениці основними елементами врожаю є продуктивне кущення, маса зерна з одного колоса та маса 1000 зернин. У сучасних сортів пшениці ключовими чинниками, що забезпечують високу врожайність, є збільшення кількості зерен у колосі та продуктивне кущення. Проте багато аспектів підвищення врожайності зернових культур залишаються недостатньо вивченими й потребують подальших досліджень [35, 36].

У таблиці 8 наведено результати дослідження впливу мінеральних добрив і їх сумішей із гуміновим препаратом 5R SoilBoost на продуктивність озимої пшениці сорту Смоглянка.

Таблиця 8

Елементи структури врожайності пшениці озимої сорту Смоглянка залежно від удобрення в середньому за 2023-2024 рр.)

Варіант удобрення	Продуктивне кушення	Маса зерна з колоса, г	Маса 1000 зернин, г
NH ₄ NO ₃	1,54	1,57	41,16
КАС	1,58	1,64	41,25
5R Soil Boost	1,67	1,66	42,54
NH ₄ NO ₃ + 5R Soil	1,73	1,71	45,40
КАС + 5R Soil Boost	1,81	1,82	45,80

Джерело: авторські дослідження.

Як відомо, одним із ключових компонентів урожайності пшениці є *продуктивне кушення*, яке характеризується кількістю стебел, що формують колосся та насіння. Дані таблиці 5 свідчать, що всі елементи структури врожайності пшениці, включаючи продуктивне кушення, демонструють позитивну реакцію на використання гумінових речовин у технологіях вирощування.

Зокрема, суміші гумінового препарату 5R SoilBoost із КАС мали суттєвий вплив на продуктивне кушення рослин пшениці, яке зросло на 14,4% порівняно з контролем (чистою КАС). Карбамідно-аміачна суміш (КАС) має низку переваг перед твердими азотними добривами, такими як аміачна селітра. Серед них — рівномірний розподіл у ґрунті, мінімальні втрати поживних речовин і зниження рівня забруднення навколишнього середовища.

Карбамідно-аміачна суміш (КАС), на відміну від аміачної селітри, забезпечує пролонговане живлення рослин азотом завдяки вмісту трьох форм азоту: нітратної, амонійної та амідної. Амідний азот поступово переходить в амонійну, а потім у нітратну форму під впливом ґрунтових мікроорганізмів. Крім того, відсутність вільного аміаку у складі КАС зменшує втрати азоту через випаровування, що підвищує його ефективність у складі сумішей.

Застосування суміші 5R SoilBoost + КАС сприяло збільшенню продуктивного кушення на 14,4% порівняно з контролем (чистим КАС). Подібну тенденцію спостерігали при використанні суміші 5R SoilBoost + NH_4NO_3 , де приріст продуктивного кушення становив 12,3% порівняно з ділянками, удобреними лише аміачною селітрою. Важливу роль у цьому процесі відігравав безпосередній вплив гумінового препарату, адже навіть його застосування у чистому вигляді забезпечувало приріст продуктивного кушення на 8,4% порівняно з NH_4NO_3 та на 5,7% — порівняно з КАС.

Завдяки високому рівню продуктивного кушення в варіанті із застосуванням суміші 5R SoilBoost + КАС, була отримана найбільша маса зерна з однієї рослини, що перевищувала контроль на 11%. У варіанті із сумішшю 5R SoilBoost + NH_4NO_3 це перевищення становило 9%. Таким чином, рівень живлення став основним регулюючим чинником формування маси зерна з колоса. Найбільшу масу зерна з колоса (1,82 г) зафіксували у варіанті із застосуванням суміші 5R SoilBoost + КАС. Позитивний вплив гумінового препарату спостерігався навіть при його використанні у чистому вигляді, що призвело до приросту маси зерна з колоса на 5,7% порівняно з NH_4NO_3 та на 1,2% — порівняно з КАС.

Покращення структурних елементів урожаю, таких як кількість зерен у колосі та їх маса, внаслідок сумісного застосування азотних добрив і гумінових речовин, підтверджується численними науковими дослідженнями [6, 12]. Наші експерименти також підтвердили цю закономірність.

Хоча рослини позитивно реагували на підживлення монодобривами (NH_4NO_3 , КАС або 5R SoilBoost), найбільший ефект спостерігався при застосуванні гумінового препарату. Маса 1000 зерен у рослин, підживлених 5R SoilBoost, збільшувалася на 3,1–3,3% порівняно з чистими мінеральними добривами NH_4NO_3 та КАС. Максимальний приріст маси 1000 зерен був досягнутий у варіантах із сумішами NH_4NO_3 + 5R SoilBoost та КАС + 5R SoilBoost, де приріст становив 10,3% і 11,0% відповідно, порівняно з рослинами, удобреними лише NH_4NO_3 або КАС.

Ефективне використання комплексних добрив, з урахуванням вмісту поживних елементів у ґрунті, дозволяє значно підвищити врожайність пшениці порівняно з ділянками, де використовували лише монодобрива (аміачну селітру або КАС). Для визначення найефективнішого варіанту удобрення ми порівняли обсяг врожаю, отриманий при використанні чистого гумінового препарату 5R SoilBoost та його сумішей із NH_4NO_3 і КАС, з врожаєм зерна, отриманим на ділянках, удобрених лише NH_4NO_3 або КАС (таблиця 9).

Таблиця 9

Урожайність пшениці озимої сорту Смуглянка за різного удобрення, (2021-2023 рр.), т/га

Варіант удобрення	2021 рік	2022 рік	Динаміка 2021/2022, %	2023 рік	Динаміка 2023/2022, %	Динаміка 2022/2021, %
NH_4NO_3	5,32	5,40	101,50	5,46	101,11	102,63
КАС	5,47	5,52	100,91	5,58	101,09	102,01
5R Soil Boost	5,73	5,78	100,87	5,84	101,04	101,92
NH_4NO_3 + 5R Soil Boost	6,40	6,47	101,09	6,52	100,77	101,88
КАС+ 5R Soil Boost	6,71	6,80	101,34	6,87	101,03	102,38

Джерело: авторські дослідження.

Таблиця 10

Урожайність пшениці озимої сорту Смуглянка в середньому за роки досліджень (2022-2023 рр.), т/га

Варіант удобрення	2021 рік	2022 рік	2023 рік	В середньому
NH_4NO_3	5,32	5,40	5,46	5,39
КАС	5,47	5,52	5,58	5,52
5R Soil Boost	5,73	5,78	5,84	5,78
NH_4NO_3 + 5R Soil Boost	6,40	6,47	6,52	6,46
КАС+ 5R Soil Boost	6,71	6,80	6,87	6,79
НІР ₀₅ т/га	0,29	0,17	0,21	

На всіх варіантах застосування 5R SoilBoost, незалежно від його форми, було зафіксовано приріст врожайності порівняно з використанням лише мінеральних добрив протягом усіх років досліджень. Урожайність на ділянках,

де застосовували 5R SoilBoost у чистому вигляді, перевищувала показники ділянок, удобрених лише NH_4NO_3 , на 7,0–7,7%, а порівняно з ділянками, удобреними КАС, зростання становило в середньому 4,8% за всі роки досліджень.

Максимальне підвищення врожайності було зафіксовано на ділянках, удобрених сумішшю 5R SoilBoost + КАС- 22,7— 23%. У варіанті з використанням суміші 5R SoilBoost + NH_4NO_3 приріст врожаю в середньому за всі роки досліджень складав приблизно 20%.

Отже, правильний вибір і застосування форм добрив дозволяє забезпечити збалансоване живлення рослин, мінімізувати дефіцит або знизити негативний вплив надлишку окремих елементів у ґрунті, що, своєю чергою, забезпечує суттєве підвищення врожайності сільськогосподарської культури.

4. ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Основними показниками економічної ефективності впровадження результатів наукових досліджень є приріст обсягів виробництва продукції та річний економічний ефект на одиницю площі чи в межах конкретного об'єкта впровадження. Ці показники дозволяють оцінити внесок наукових розробок у розвиток сільського господарства або інших галузей економіки.

Річний економічний ефект розраховується як сума економії виробничих ресурсів, включаючи земельні, трудові, матеріальні, фінансові та інші, яка досягається внаслідок впровадження новітніх технологій, методів або сортів. Цей показник демонструє підвищення ефективності використання ресурсів і зниження витрат на виробництво. Для детальнішого економічного аналізу розраховуються також інші ключові показники, такі як рівень урожайності, чистий дохід на одиницю площі, рентабельність виробництва, собівартість продукції та продуктивність праці. Сукупність цих показників дозволяє оцінити не лише фінансову вигоду, але й ефективність управлінських рішень і технологічних інновацій, впроваджених на підприємстві.

Однією з ключових економічних категорій у діяльності підприємств є рентабельність, що характеризує прибутковість. Для оцінки рентабельності виробництва окремих видів продукції, галузей або господарств недостатньо визначити лише величину прибутку; необхідно співвіднести її з витратами на виробництво. Для цього використовується показник рівня рентабельності, який є індикатором економічної ефективності виробництва як окремих видів сільськогосподарської продукції, так і діяльності господарства в цілому.

Для оцінки економічної ефективності вирощування кукурудзи на зерно (таблиця 5.1) було використано такі показники: обсяг виробництва продукції у вартісному вираженні, виробничі витрати, собівартість продукції, розмір чистого доходу та рівень рентабельності продукції.

Таблиця 11

Економічна ефективність вирощування пшениці озимої залежно від
удобрення (середнє за 2022-2023 рр.)

Показники	Варіанти дослідів		
	КАС	5R Soil Boost	КАС+ 5R Soil Boost
Врожайність, т/га	5,52	5,78	6,79
Ціна 1 т, грн.	5000	5000	5000
Вартість валової продукції, грн.	27600	28900	33950
Виробничі витрати, грн./га	14858	15203	16036
Виробничі витрати, грн./т	2692	2630	2362
Чистий прибуток, грн.	12742	13697	17914
Витрати праці, люд-год./га	15,4	16,5	16,6
Витрати праці, люд-год./т	2,79	2,85	2,44
Рівень рентабельності, %	85,8	90,1	111,7
Окупність витрат, грн.	1,86	1,9	2,12

Врожайність пшениці озимої суттєво залежить від використання добрив. Найвищу врожайність (6,79 т/га) було отримано при застосуванні комбінованого удобрення КАС + 5R Soil Boost. Це перевищує показник при використанні лише КАС на 23,01% (5,52 т/га) і результат із використанням 5R Soil Boost на 17,48% (5,78 т/га). Такі дані свідчать про синергійний ефект комбінованого удобрення на врожайність культури.

Вартість валової продукції, розрахована за фіксованою ціною 1 тонни (5000 грн), демонструє аналогічну тенденцію. Найвищий показник (33950 грн/га) було досягнуто у варіанті КАС + 5R Soil Boost, що на 23,01% більше порівняно з використанням лише КАС (27600 грн/га) та на 17,48% більше, ніж при застосуванні 5R Soil Boost (28900 грн/га).

Виробничі витрати варіювали залежно від варіанту удобрення. Найменші витрати зафіксовано у варіанті з КАС (14858 грн/га), дещо вищі при застосуванні 5R Soil Boost (15203 грн/га), і максимальні — у комбінованому варіанті КАС + 5R Soil Boost (16036 грн/га). Попри збільшення витрат, комбінований варіант забезпечив найвищу ефективність завдяки значному зростанню врожайності.

Виробничі витрати на 1 тону продукції є важливим показником економічної ефективності. Найнижчий рівень витрат зафіксовано у варіанті КАС + 5R Soil Boost (2362 грн/т), що на 12,29% менше, ніж у варіанті з КАС (2692 грн/т), і на 10,2% менше, ніж при використанні 5R Soil Boost (2630 грн/т). Це свідчить про високу ефективність комбінованого варіанту удобрення.

Максимальний чистий прибуток (17914 грн/га) отримано при застосуванні КАС + 5R Soil Boost, що на 40,61% більше порівняно з варіантом КАС (12742 грн/га) і на 30,77% більше, ніж у варіанті 5R Soil Boost (13697 грн/га). Отримані результати підтверджують економічну доцільність використання комбінованого удобрення.

Витрати праці на гектар варіювалися незначно: найменші значення зафіксовано при використанні КАС (15,4 люд-год/га), тоді як у варіантах 5R Soil Boost і КАС + 5R Soil Boost витрати становили 16,5 і 16,6 люд-год/га відповідно. Це свідчить про дещо підвищену трудомісткість комбінованого підходу до удобрення.

Найнижчі витрати праці на 1 тону продукції спостерігалися у варіанті КАС + 5R Soil Boost (2,44 люд-год/т), що на 12,54% менше, ніж при використанні КАС (2,79 люд-год/т), і на 14,39% менше, ніж у варіанті 5R Soil Boost (2,85 люд-год/т). Це додатково підкреслює ефективність комбінованого підходу.

Рівень рентабельності є найбільшим у варіанті КАС + 5R Soil Boost (111,7%), що перевищує показник для КАС (85,8%) на 30,17% і для 5R Soil Boost (90,1%) на 24,01%. Це свідчить про найвищу економічну ефективність комбінованого удобрення.

Окупність витрат також є найвищою у варіанті КАС + 5R Soil Boost (2,12 грн на кожную витрачену гривню), тоді як у варіантах КАС і 5R Soil Boost цей показник становив 1,86 та 1,9 відповідно. Це ще раз підтверджує доцільність використання комбінованого підходу.

Аналіз даних свідчить, що найбільш економічно ефективним є використання комбінованого удобрення КАС + 5R Soil Boost. Цей варіант забезпечив найвищі показники врожайності, чистого прибутку, рівня рентабельності та окупності витрат, а також найнижчі витрати на 1 тонну продукції та витрати праці. Хоча виробничі витрати у цьому варіанті є дещо вищими, вони повністю компенсуються зростанням економічних показників. Таким чином, застосування комбінованого удобрення є найбільш доцільним для підвищення ефективності вирощування пшениці озимої.

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Для підвищення рівня охорони праці в господарстві доцільно впровадити низку заходів, спрямованих на забезпечення безпеки працівників та поліпшення умов їхньої роботи. Зокрема, рекомендується:

Впровадження сучасних технічних засобів охорони праці.

Розробити та встановити більш ефективні технічні засоби, такі як огороження рухомих частин машин, блокувальні пристрої, запобіжні механізми, системи сигналізації та засоби контролю небезпечних факторів. Це допоможе мінімізувати ризики отримання травм та забезпечити оперативне реагування на аварійні ситуації.

Модернізація вентиляційних систем.

Розробити та встановити нові або реконструювати наявні вентиляційні системи для забезпечення ефективного видалення шкідливих газів, пилу та парів. Це дозволить підтримувати оптимальний рівень повітряного середовища, що знизить ризик розвитку професійних захворювань.

Зниження рівня шкідливих фізичних факторів.

Здійснити конструктивні заходи, які дозволять знизити до регламентованих рівнів вплив шуму, вібрації, електромагнітних випромінювань та інших несприятливих факторів. Це може включати встановлення шумопоглинаючих матеріалів, використання антивібраційних платформ і захисних екранів.

Усунення контакту з шкідливими речовинами.

Організувати дистанційне керування обладнанням, впровадити герметичні системи обробки матеріалів та автоматизовані лінії для зменшення прямого контакту працівників із небезпечними речовинами. Це забезпечить не лише захист здоров'я працівників, але й підвищить ефективність роботи.

Покращення транспортування вантажів.

Впровадити більш безпечні системи транспортування, такі як пневмотранспорт або конвеєрні системи, які дозволяють мінімізувати фізичне навантаження на працівників та ризики травмування під час переміщення матеріалів.

Реконструкція санітарно-побутових приміщень.

Розширити та модернізувати санітарно-побутові приміщення, включаючи душові, переодягальні та кімнати особистої гігієни. Обладнати їх сучасними засобами для забезпечення комфорту працівників, що сприятиме підвищенню рівня гігієни та зменшенню ризику професійних захворювань.

Підвищення обізнаності працівників у сфері охорони праці.

Організувати регулярні навчання та тренінги для працівників, спрямовані на підвищення обізнаності про правила безпеки, використання засобів індивідуального захисту та реагування на надзвичайні ситуації. Це дозволить зменшити кількість порушень правил безпеки та підвищити відповідальність персоналу.

Моніторинг і аудит охорони праці.

Запровадити систематичний моніторинг стану охорони праці з використанням сучасних програмних рішень для виявлення та усунення потенційних загроз на ранніх етапах. Регулярний аудит допоможе підтримувати високі стандарти безпеки.

Реалізація цих рекомендацій забезпечить суттєве покращення умов праці в господарстві, знизить рівень травматизму та професійних захворювань, підвищить продуктивність праці та створить більш комфортні та безпечні умови для персоналу. Це також сприятиме зміцненню репутації господарства як соціально відповідального роботодавця.

ВИСНОВКИ

Гумінові речовини регулюють низку фізіологічних процесів у рослин, зокрема проростання насіння та розвиток кореневої системи. Стимулююча дія гумінових речовин сприяє прискоренню проростання насіння, завдяки наявності фенольних фрагментів у структурі гумінових сполук

Удобрення ґрунту перед висівом насіння пшениці озимої сорту Смуглянка гуміновим препаратом 5R SoilBoost EA у поєднанні з азотним добривом сприяло інтенсифікації ростових процесів на початкових стадіях вегетації. Що проявлялося в активному розвитку кореневої системи, підвищеній біомасі проростків та загальному прискоренні росту рослин.

Крім того, вміст основних пігментів фотосинтетичного апарату пшениці змінювався залежно від поживного складу ґрунтового субстрату. Максимальний ефект було досягнуто у рослин, що росли на ґрунті, удобреному сумішшю аміачної селітри та гумінового препарату 5R SoilBoost EA.

Максимальний вплив на накопичення поживних елементів у ґрунті перед висівом пшениці мали суміші мінеральних добрив NH_4NO_3 + 5R SoilBoost і КАС + 5R SoilBoost.

Ефективне використання комплексних добрив, з урахуванням вмісту поживних елементів у ґрунті, дозволяє значно підвищити врожайність пшениці при використанні чистого гумінового препарату 5R SoilBoost та його сумішей із NH_4NO_3 і КАС.

Максимальне підвищення врожайності було зафіксовано на ділянках, удобрених сумішшю 5R SoilBoost + КАС, приріст становив близько 23%.

У варіанті з використанням суміші 5R SoilBoost + NH_4NO_3 приріст врожаю в середньому за всі роки досліджень складав приблизно 20%.

Отже, правильний вибір і застосування форм добрив дозволяє забезпечити збалансоване живлення рослин, мінімізувати дефіцит або знизити

негативний вплив надлишку окремих елементів у ґрунті, що, своєю чергою, забезпечує суттєве підвищення врожайності сільськогосподарської культури.

Врожайність пшениці озимої суттєво залежить від використання добрив. Найвищу врожайність (6,79 т/га) було отримано при застосуванні комбінованого удобрення КАС + 5R Soil Boost. Це перевищує показник при використанні лише КАС на 23,01% (5,52 т/га) і результат із використанням 5R Soil Boost на 17,48% (5,78 т/га). Такі дані свідчать про синергійний ефект комбінованого удобрення на врожайність культури.

Максимальний чистий прибуток (17914 грн/га) отримано при застосуванні КАС + 5R Soil Boost, що на 40,61% більше порівняно з варіантом КАС (12742 грн/га) і на 30,77% більше, ніж у варіанті 5R Soil Boost (13697 грн/га). Отримані результати підтверджують економічну доцільність використання комбінованого удобрення.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

Рекомендовано застосування гуміновий препарат 5R SoilBoost в удобреній сумішші 5R SoilBoost + КАС, що дозволить забезпечити збалансоване живлення рослин, мінімізувати дефіцит або знизить негативний вплив надлишку окремих елементів у ґрунті, що, своєю чергою, забезпечить суттєве підвищення врожайності пшениці озимої.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шепілова Т. П. Вплив регуляторів росту на продуктивність сої в умовах Північного Степу України. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2019. № 3. С. 80-84.
2. Маренич М. М., Юрченко С. О. Посівні якості насіння сільськогосподарських культур залежно від застосування стимуляторів росту. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2016. № 1-2. С. 18-21.
3. Yakhin O. I., Lubyantov A. A., Yakhin I. A., Brown P. H. Biostimulants in Plant Science: A Global Perspective. *Front Plant Sci.* 2017. Vol. 7. P. 2049.
4. Du Jardin P. Plant Biostimulants: Definition, Concept, Main Categories and Regulation. *Scientia Horticulturae.* 2015. Vol. 196. P. 3-14.
5. Calvo P., Nelson L., Kloepper J. W. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant Soil.* 2014. Vol. 383. P. 3-4.
6. Khafagy M., Khafagy Z., Al-Abidin A. H., et al. Effect of Pre-treatment of Barley Grain on Germination and Seedling Growth Under Drought Stress. *Advances in Applied Sciences.* 2017. Vol. 2, Issue 3. P. 33-42.
7. Piotrowska-Niczyporuk A., Bajguz A. The effect of natural and synthetic auxins on the growth, metabolite content and antioxidant response of green alga *Chlorella vulgaris* (Trebouxiophyceae). *Plant Growth Regulation.* 2014. Vol. 73, Issue 1. P. 57-66.
8. Papenfus H. B., Kulkarni M. G., Stirk W. A., et al. Effect of a commercial seaweed extract (Kelpak®) and polyamines on nutrient-deprived (N, P and K) okra seedlings. *Scientia Horticulturae.* 2013. Vol. 151. P. 142-146.
9. Bakhmat M. I., Sendetsky I. V., Kozina T. V., et al. The influence of growth regulator and seeding rates on the formation of winter rape production in the conditions of the Western Forest-Steppe. *Agrology.* 2019. Vol. 2, Issue 3. P. 189-193.

10. Craigie J. S. Seaweed extracts stimuli in plant science and agriculture. *Journal of Applied Phycology*. 2011. Vol. 23. P. 371-393.
11. Shah M. T., Zodape S. T., Chaudhary D. R., Eswaran K., Chikara J. Seaweed SAP as an alternative liquid fertilizer for yield and quality improvement of wheat. *Journal of Plant Nutrition*. 2013. Vol. 36, Issue 2. P. 192-200.
12. Jindo K., Canellas L. P., Albacete A., Santos L. F., Rocha R. L. F., Baia D. C., Canellas N. O. A., Goron T. L., Olivares F. L. Interaction between Humic Substances and Plant Hormones for Phosphorous Acquisition. *Agronomy*. 2020. Vol. 10, Issue 5. P. 640.
13. Nardi S., Pizzeghello D., Schiavon M., Ertani A. Plant biostimulants: physiological responses induced by protein hydrolyzed-based products and humic substances in plant metabolism. *Scientia Agricola*. 2016. Vol. 73, Issue 1. P. 18-23.
14. Ren B., Zhang J., Dong S., Liu P., Zhao B. Regulations of 6-Benzyladenine (6-BA) on Leaf Ultrastructure and Photosynthetic Characteristics of Waterlogged Summer Maize. *Journal of Plant Growth Regulation*. 2017. Vol. 36. P. 743-754.
15. Lakshmipathi, Adiga J. D., Kalaivanan D., Halesh G. K. Effect of plant growth regulators on leaf area, chlorophyll content, carotenoids, stomatal count and yield of cashew (*Anacardium occidentale* L.) var. Bhaskara. *Journal of Plantation Crops*. 2017. Vol. 45, Issue 2. P. 141-146.
16. Khan N., Bano A. M. D., Babar A. Impacts of plant growth promoters and plant growth regulators on rainfed agriculture. *PLoS ONE*. 2020. Vol. 15, Issue 4. e0231426. doi: 10.1371/journal.pone.0231426
17. Popko M., Michalak I., Wilk R., Gramza M., Chojnacka K., Gorecki H. Effect of the New Plant Growth Biostimulants Based on Amino Acids on Yield and Grain Quality of Winter Wheat. *Molecules*. 2018. Vol. 23, Issue 2. P. 470
18. Шаповал О. А. Можарова И. П., Коршунов А. А. Эффективность применения и перспективы использования регуляторов роста растений комплексного действия в агротехнологиях сельскохозяйственных культур. Фітогормони, гумінові речовини та інші біологічно активні сполуки для

- сільського господарства, здоров'я людини і охорони навколишнього середовища. Львів : Вид. Львівської політехніки, 2013. С. 158–163.
19. Baveye P. C., Wander M. The (Bio)Chemistry of Soil Humus and Humic Substances: Why Is the “New View” Still Considered Novel After More Than 80 Years? *Front. Environ. Sci.* 2019. Vol. 7. P. 27. doi: 10.3389/fenvs.2019.00027.
 20. Дідковська Т. П. Технологічні основи виготовлення та застосування гуматів під овочеві культури : дис. ... канд. с.-г. наук: 06.01.04. Харків, 2009. 184 с.
 21. Скрильник Є. В., Кутова А. М., Артем'єва К. С. Новації в удобренні соняшнику. *The Ukrainian Farmer*. 2015. № 5 (65). С. 84–87.
 22. Bulgari R., Franzoni G., Ferrante A. Biostimulants Application in Horticultural Crops under Abiotic Stress Conditions. *Agronomy*. 2019. Vol. 9. P. 306.
 23. Bharali A., Baruah K. K., Bhattacharyya P., et al. Integrated nutrient management in wheat grown in a northeast India soil: Impacts on soil organic carbon fractions in relation to grain yield. *Soil & tillage research*. 2017. Vol. 168. P. 81-91.
 24. Manzoor A., Khattak R. A., Dost M. Humic acid and micronutrient effects on wheat yield and nutrients uptake in salt affected soils. *International journal of agriculture & biology*. 2014. Vol. 16. P. 991-995.
 25. Хоменко Б. С., Дуденко М. Р., Короткова І. В. Переваги та недоліки застосування гуматів у аграрному виробництві. *Хімія, екологія та освіта : матеріали IV Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (м. Полтава, 21-22 травня 2020 року)*. Полтава, 2020. С. 157-161.
 26. Артем'єва К. С. Економічна ефективність комплексного застосування рідких органомінеральних добрив. *Вісник аграрної науки*. 2018. № 5. С. 73-76.
 27. Nunes R. O., Domiciano G. A., Alves W. S., et al. Evaluation of the effects of humic acids on maize root architecture by label-free proteomics analysis. *Scientific Reports*. 2019. Vol. 9. P. 1-11.
 28. Zanin L., Tomasi N., Cesco S., Varanini Z., Pinton R. Humic substances contribute to plant iron nutrition acting as chelators and biostimulants. *Front Plant Sci*. 2019. Vol. 10. P. 1-10.

29. Zymaroieva A., Zhukov O., Romanchuck L., et al. Spatiotemporal dynamics of cereals grains and grain legumes yield in Ukraine. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2019. Vol. 25, Issue 6. P. 1107-1113.
30. Shahryari R. Economic and biological yield assessment of wheat genotypes under terminal drought in presence of humic acid using stress tolerance indices. *ПОАВ journal*. 2017. Vol. 7. P. 1-6.
31. Закорчевный И. И., Михальская Л. Н., Швартау В. В. Гуминовые вещества и удобрения на их основе. *Грунтознавство*. 2012. Т. 13, № 1-2. С. 60-78.
32. Гумінові речовини - безпечні регулятори екосистем / Ящук В. У., Корецький А. П., Ковбасенко Р. В., Дмитрієв О. П., Ковбасенко В. М. Київ, 2016. 89 с.
33. Korotkova I., Marenych M., Hanhur V., Laslo O., Chetveryk O., Liashenko V. Weed control and winter wheat crop yield with the application of herbicides, nitrogen fertilizers, and their mixtures with humic growth regulators. *Acta Agrobotanica*. 2021. Vol. 74. doi: 10.5586/aa.748
34. Sharma S. H., Fleming C., Selby Ch., Rao J. R., Trevor M. Plant biostimulants: a review on the processing of macroalgae and use of extracts for crop management to reduce abiotic and biotic stresses. *Journal of Applied Phycology*. 2014. Vol. 26. P. 465-490.
35. Безуглова О. С., Полиенко Е. А., Горовцов А. В. Гуминовые препараты как стимуляторы роста растений и микроорганизмов (обзор). *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2016. № 4 (60). С. 11-14.
36. Ciarkowska K., Solek-Podwika K., Filipek-Mazur B., Tabak M. Comparative effects of lignite-derived humic acids and FYM on soil properties and vegetable yield. *Geoderma*. 2017. Vol. 303. P. 85-92.
37. Жеребцов С. И., Малышенко Н. В., Вотолин К. С., Андроханов В. А., Соколов Д. А., Дугаржав Ж., Исмагилов З. Р. Гуминовые препараты: связь структурно-группового состава и биологической активности. *Вестник*

- Кузбасского государственного технического университета. 2018. № 5. С. 52-60.
38. Dieter K. Ein Beitrag zur Theorie des Huminstoffzustandes. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 1970. Vol. 14, Issue 1. P. 3-14.
 39. Stevenson F. J. *Humic Chemistry: Genesis, Composition, Reactions*. John Wiley & Sons. New York, 1994. P. 34-41.
 40. Попов А. И. Гуминовые вещества: свойства, строение, образование / под ред. Е. И. Ермакова. СПб. : Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2004. 248 с.
 41. Яговкин А. К., Миронова Ю. В., Миронов А. А. Развитие представлений о молекулярной организации сложных органических систем - гуминовых кислот. *Вестник Югорского государственного университета*. 2009. Вып. 3. № 14. С. 80-86.
 42. Gomes de Melo B. A., Motta F. L., Santana M. H. A. Humic acids: Structural properties and multiple functionalities for novel technological developments (Review). *Materials Science and Engineering: C*. 2016. Vol. 62. P. 967-974. doi: 10.1016/j.msec.2015.12.001
 43. Tan L., Tan X., Mei H., et al. Coagulation behavior of humic acid in aqueous solutions containing Cs⁺, Sr²⁺ and Eu³⁺: DLS, EEM and MD simulations. *Environ. Pollut.* 2018. Vol. 236. P. 835-843.
 44. Capasso S., Chianese S., Musmarra D., Iovino P. Macromolecular Structure of a Commercial Humic Acid Sample. *Environments*. 2020. Vol. 7. P. 32. doi:10.3390/environments7040032
 45. Yoon H. Y., Jeong H. J., Cha J-Y., et al. Structural variation of humic-like substances and its impact on plant stimulation: Implication for structure-function relationship of soil organic matters. *Science of the total Environment*. 2020. Vol. 725. 138409.
 46. Жеребцов С. И., Малышенко Н. В., Вотолин К. С. и др. Гуминовые препараты: связь структурногруппового состава и биологической активности. *Вестник КузГТУ*. 2018. № 5. С. 52-60.

47. Крижанівський В. Г. Адаптаційна здатність сортів озимої пшениці та формування якісних властивостей зерна різного еколого-географічного походження. *Корми та кормове виробництво*. 2020. Т. 90. Р. 98-105.
48. Орлюк А. П., Гончарова К. О. Озима пшениця Херсонська безоста. *Пропозиція*. 2018. № 10. С. 48-56.
49. Назаренко М., Лихолат Ю. Вплив умов рельєфу на ріст і розвиток рослин. *Журнал геології, географії та геоекології*. 2018. Т. 26. № 1. С. 143-149.
50. Siddique K., Chen Y., Rengel Z. Efficient root system for abiotic stress tolerance in crops. *Procedia Environ Sci*. 2015. Vol. 29. P. 295.
51. Wang D., Ding W., Feng S., et al. Stem characteristics of different wheat varieties and its relationship with lodging-resistance. *JAppl Ecol*. 2016. Vol. 27. P. 1496-1502.
52. Прядкина Г. О., Швартау В. В. Михальська Л. М. Потужність фотосинтетичного апарату, зернова продуктивність та якість зерна інтенсивних сортів м'якої пшениці за різного рівня мінерального живлення. *Физиология и биохимия культурных растений*. 2011. Т. 43. № 2. С. 158-163.
53. Михальська Л. М., Маковейчук Т. І., Швартау В. В. Застосування добрива мегафон і ретардантів класу ацилциклогексادیонів на посівах пшениці озимої. *Физиология растений и генетика*. 2019. Т. 51. № 6. С. 541-548.
54. Олійник К. М., Давидюк Г. В. Продуктивність і якість зерна пшениці озимої за різних технологій вирощування. *Технології вирощування сільськогосподарських культур*. 2017. № 85. С. 74-78.
55. Бабич Ю. В. Строки сівби на продуктивність озимої пшениці по чорному пару. *Хранение и переработка зерна*. 2015. № 9. С. 24-26.
56. Ткачек С. П., Каленська С. М. и др. Загальні особливості вирощування озимої пшениці. *Агроном*. 2008. № 3. С. 22-27.
57. Семенов А. О., Короткова І. В., Сахно Т. В., Маренич М. М. Використання агрономічного потенціалу УФ-С випромінювання для підвищення передпосівних якостей насіння моркви. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2019. Вип. 1. С. 47-52.

58. Zandonadi D. B., Santos M. P., Dobbss L. B., et al. Nitric oxide mediates humic acid-induced root development and plasma membrane H⁺-ATPase activation. *Planta*. 2010. Vol. 231. P. 1025-1036.
59. Мальцева Н. М., Гаєвський А. П., Дерев'янка К. Ю. Вплив біологічно активних речовин та їх композицій на вміст фотосинтетичних пігментів у листках озимої пшениці в умовах дефіциту фосфору. *Физиология и биохимия культурных растений*. 2011. Т. 43, № 5. С. 403-411.
60. Дідковська Т. П. Технологічні основи виготовлення та застосування гуматів під овочеві культури : дис. ... канд. с.-г. наук: 06.01.04. Харків, 2009. 184 с.
61. Скрильник Є. В., Кутова А. М., Артем'єва К. С. Новації в удобренні соняшнику. *The Ukrainian Farmer*. 2015. № 5 (65). С. 84-87.