

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Навчально-науковий інститут екології, зеленої енергетики та сталого
розвитку

Кафедра екології та менеджменту довкілля

До захисту допущено

Кафедрою екології та менеджменту довкілля

протокол № _____ від _____

В.о. завідувача кафедри _____ Андрій АЧАСОВ
(підпис) (ім'я, прізвище)

« _____ » _____ 2026 р.

Кваліфікаційна робота
здобувача _____ першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
(першого (бакалаврського) / другого (магістерського))

Порівняльна оцінка фітотоксичної дії різних видів біокомпостів
(назва роботи)

Спеціальність (спеціалізація) _____ 201 Агрономія
(код та найменування спеціальності; спеціалізації спеціальності - за наявності)

Освітня програма _____ Агроменеджмент і цифрові технології в агробізнесі
(назва освітньої програми)

Виконавець _____ Роман НЕВГОД
(підпис) (ім'я, прізвище)

Науковий керівник _____ Іветта КРИВИЦЬКА
(підпис) (ім'я, прізвище)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені В. Н. КАРАЗІНА

Навчально-науковий інститут екології, зеленої енергетики та сталого розвитку
Кафедра екології та менеджменту довкілля
Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) бакалавр
Спеціальність Н1 Агрономія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ / проф. Андрій АЧАСОВ
підпис ім'я та прізвище

“ 20 ” травня 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ)

_____ Роману НЕВГОДУ

(ім'я та прізвище)

1. Тема роботи Порівняльна оцінка фітотоксичної дії різних біокомпостів

керівник роботи Іветта КРИВИЦЬКА, канд. біол. наук, доцент

(ім'я, прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від “ _____ ” квітня 2026 року

2. Строк подання студентом роботи 01 травня 2026 р.

3. Перелік питань, які потрібно розробити:

1. Здійснити огляд сучасних наукових джерел щодо використання біокомпостів різного походження.
2. Охарактеризувати фізико-хімічні властивості біокомпостів.
3. Провести біотестування водних витяжок біокомпостів.
4. Визначити показники схожості насіння та морфометричні параметри проростків.

5. Розрахувати індекс фітотоксичності (А) та індекс проростання (GІ).
6. Провести порівняльну оцінку фітотоксичності біокомпостів різного походження.
7. Встановити залежність між походженням біокомпосту та характером його біологічної дії.
8. Зробити висновки.

4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1	Аналіз сучасного стану досліджень щодо застосування біокомпостів різного походження
2	Методи дослідження фітотоксичної дії різних видів біокомпостів
3	Аналіз результатів дослідження фітотоксичної дії різних видів біокомпостів

5. Дата видачі завдання 20.05.2025 р.

Студент

підпис

Роман НЕВГОД

ім'я і прізвище

Керівник роботи

підпис

доц. Іветта КРИВИЦЬКА

посада, ім'я і прізвище

АНОТАЦІЯ

ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ФІТОТОКСИЧНОЇ ДІЇ РІЗНИХ БІОКОМПОСТІВ

Роман НЕВГОД

Кваліфікаційна робота «Порівняльна оцінка фітотоксичної дії різних біокомпостів» містить 41 сторінку, 4 розділи, 3 таблиці, 2 рисунків, та 21 використане джерело.

Мета роботи: оцінити фітотоксичну дію біокомпостів різного походження за допомогою біотестування

Актуальність дослідження Проблема утилізації органічних відходів є актуальною у зв'язку зі зростанням їх обсягів та необхідністю екологічно безпечної переробки. Біокомпостування розглядається як ефективний спосіб отримання органічного добрива, однак якість компостів значною мірою залежить від їх походження та ступеня зрілості, що потребує додаткової оцінки їх фітотоксичності.

Завдання Проаналізувати біокомпости різного походження, визначити їх рН, провести біотестування водних витяжок, оцінити схожість і ріст проростків, розрахувати індекси А та GI та порівняти біологічну дію досліджуваних компостів.

Методи. Польові, лабораторні та розрахункові методи досліджень.

Результати. Встановлено, що біокомпости різного походження істотно відрізняються за біологічною дією на рослини. Найвищу стимулюючу активність мав компост із рослинних решток ($GI > 100 \%$, від'ємний індекс фітотоксичності). Компост із харчових відходів проявив виражену фітотоксичність, а варіант на основі гною — помірний пригнічуючий ефект. Виявлено, що рівень фітотоксичності визначається переважно складом і ступенем зрілості компосту, а не показником рН.

ФІТОТОКСИЧНІСТЬ, БІОКОМПОСТ, БІОТЕСТУВАННЯ,
КОМПОСТУВАННЯ

ABSTRACT

COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE PHYTOTOXIC EFFECT OF VARIOUS BIOCOMPOSTS

Roman NEVGOD

Qualification work "Comparative assessment of the phytotoxic effect of various biocomposts" contains 41 pages, 4 sections, 3 tables, 2 figures, and 21 sources used.

Purpose of the work: to assess the phytotoxic effect of biocomposts of different origins using biotesting

Relevance of the study The problem of organic waste disposal is relevant due to the growth of their volumes and the need for environmentally safe processing. Biocomposting is considered an effective way to obtain organic fertilizer, however, the quality of composts largely depends on their origin and degree of maturity, which requires additional assessment of their phytotoxicity.

Tasks To analyze biocomposts of different origins, determine their pH, conduct biotesting of water extracts, assess germination and seedling growth, calculate A and GI indices and compare the biological effect of the studied composts.

Methods. Field, laboratory and computational research methods.

Results. It was established that biocomposts of different origins differ significantly in their biological effect on plants. The highest stimulating activity was observed in compost from plant residues ($GI > 100\%$, negative phytotoxicity index). Compost from food waste showed pronounced phytotoxicity, and the manure-based variant had a moderate inhibitory effect. It was found that the level of phytotoxicity is determined mainly by the composition and degree of maturity of the compost, and not by the pH indicator.

PHYTOTOXICITY, BIOCOMPOST, BIOTESTING, COMPOSTING

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ДОСЛІДЖЕНЬ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ БІОКОМПОСТІВ РІЗНОГО ПОХОДЖЕННЯ	9
1.1. Сучасні підходи до переробки органічних відходів та роль біокомпостування	9
1.2. Фізико-хімічні властивості біокомпостів та фактори їх формування	12
1.3. Фітотоксичність біокомпостів та причини її виникнення	15
1.4. Біотестування як метод оцінки якості біокомпостів	18
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ФІТОТОКСИЧНОЇ ДІЇ РІЗНИХ ВИДІВ БІОКОМПОСТІВ	23
РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ФІТОТОКСИЧНОЇ ДІЇ РІЗНИХ ВИДІВ БІОКОМПОСТІВ	27
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ДОСЛІДЖЕННЯ БІОКОМПОСТІВ РІЗНОГО ПОХОДЖЕННЯ.....	36
ВИСНОВКИ.....	39
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	41

ВСТУП

У сучасних умовах переходу до сталого землеробства особливої актуальності набуває використання органічних добрив, зокрема біокомпостів, отриманих із різних видів органічної сировини. Біокомпости розглядаються як екологічно безпечна альтернатива мінеральним добривам, оскільки вони сприяють покращенню агрофізичних властивостей ґрунту, підвищують його родючість та активізують мікробіологічні процеси [11].

Водночас ефективність і безпечність біокомпостів значною мірою залежать від їхнього походження, складу та ступеня зрілості. Незрілі або неправильно підготовлені компости можуть містити фітотоксичні сполуки, зокрема органічні кислоти, амонійні форми азоту, фенольні речовини, що здатні пригнічувати проростання насіння та ріст рослин. Особливо це актуально для біокомпостів, отриманих із харчових відходів або гнойової сировини, де процеси мінералізації можуть бути неповними [3].

У зв'язку з цим виникає необхідність комплексної оцінки якості біокомпостів не лише за фізико-хімічними показниками, але й за їх біологічною дією на рослини. Одним із найбільш інформативних і чутливих підходів є метод біотестування, який дозволяє оцінити інтегральний вплив субстрату на проростання насіння та розвиток проростків.

Додатковим важливим показником є кислотність (рН), яка відображає перебіг біохімічних процесів у компості та може виступати одним із факторів формування фітотоксичності. Однак навіть за оптимальних значень рН можливе проявлення токсичного або, навпаки, стимулюючого ефекту, що обумовлює необхідність поєднання фізико-хімічних та біологічних методів оцінки.

Таким чином, дослідження фітотоксичної дії біокомпостів різного походження є актуальним як з наукової, так і з практичної точки зору, оскільки дозволяє обґрунтувати їхню агрономічну придатність та безпечність використання.

Мета дослідження: Оцінити фітотоксичну дію біокомпостів різного походження за допомогою біотестування.

Об'єкт досліджень: Біокомпости, отримані з органічної сировини різного походження.

Предмет досліджень: Фітотоксична дія біокомпостів.

Завдання:

- Здійснити огляд сучасних наукових джерел щодо використання біокомпостів різного походження.
- Охарактеризувати фізико-хімічні властивості біокомпостів, зокрема визначити їх кислотність (рН).
- Провести біотестування водних витяжок біокомпостів.
- Визначити показники схожості насіння та морфометричні параметри проростків.
- Розрахувати індекс фітотоксичності (А) та індекс проростання (GІ).
- Провести порівняльну оцінку фітотоксичності біокомпостів різного походження.
- Встановити залежність між походженням біокомпосту та характером його біологічної дії.

Методи дослідження: У роботі використано комплекс методів: лабораторні (визначення рН водної витяжки), біологічні (біотестування на рослинах), аналітичні (розрахунок індексів фітотоксичності та проростання).

Отримані результати можуть бути використані для оцінки якості біокомпостів та обґрунтування їх застосування у сільському господарстві. Встановлення рівня фітотоксичності дозволяє запобігти використанню нестабілізованих компостів і підвищити ефективність органічного удобрення.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ДОСЛІДЖЕНЬ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ БІОКОМПОСТІВ РІЗНОГО ПОХОДЖЕННЯ

1.1. Сучасні підходи до переробки органічних відходів та роль біокомпостування

Однією з найбільш актуальних екологічних проблем сучасності є постійне зростання обсягів органічних відходів, що утворюються в результаті сільськогосподарської діяльності, харчової промисловості, функціонування комунального господарства та побутової діяльності населення. Значна частина таких відходів представлена рослинними залишками, харчовими рештками, гноєм, листям, соломною та іншими органічними матеріалами, які за відсутності належної утилізації стають джерелом забруднення навколишнього середовища [11].

Накопичення органічних відходів супроводжується низкою негативних екологічних наслідків. У процесі природного анаеробного розкладу органіки утворюються метан, аміак, сірководень та інші газоподібні сполуки, що сприяють забрудненню атмосферного повітря та посиленню парникового ефекту. Крім того, інфільтрація продуктів розкладу органічної речовини у ґрунт і водні об'єкти може призводити до порушення екологічної рівноваги, евтрофікації водойм та погіршення санітарного стану територій [3].

Особливо гостро проблема утилізації органічних відходів постає у великих містах та агропромислових регіонах, де щорічно утворюються значні обсяги рослинних та харчових залишків. Традиційне складування органічних відходів на полігонах є неефективним як з екологічної, так і з економічної точки зору, оскільки супроводжується втратою цінної органічної речовини та поживних елементів [3].

У зв'язку з цим у сучасних умовах особливого значення набуває впровадження екологічно безпечних технологій переробки органічних відходів. Серед основних сучасних підходів виділяють анаеробне зброджування, вермикомпостування, біоконверсію за участю мікроорганізмів та традиційне аеробне компостування.

Анаеробне зброджування передбачає розклад органічної речовини без доступу кисню з утворенням біогазу, який може використовуватися як джерело енергії. Перевагою цього методу є можливість одночасного отримання енергетичного ресурсу та органічного залишку, придатного для удобрення ґрунтів. Водночас такі технології потребують складного обладнання та постійного контролю технологічних параметрів. [12]

Вермикомпостування базується на використанні дощових черв'яків для переробки органічної сировини. У результаті утворюється біогумус — високоякісне органічне добриво, багате на гумусові речовини та мікроелементи. Проте ефективність цього методу значною мірою залежить від температурного режиму, вологості та складу субстрату.

Серед усіх методів особливого поширення набуло аеробне компостування, яке вважається одним із найбільш доступних, економічно доцільних та екологічно безпечних способів утилізації органічних відходів. Компостування являє собою контрольований біологічний процес розкладу органічної речовини за участю аеробних мікроорганізмів [10].

У процесі компостування відбуваються складні біохімічні перетворення органічної речовини. Мікроорганізми використовують органічні сполуки як джерело енергії, унаслідок чого складні органічні компоненти поступово мінералізуються та трансформуються у більш стабільні гумусоподібні речовини. Одночасно відбувається часткове знезараження субстрату завдяки підвищенню температури компостної маси [12].

Процес компостування умовно поділяють на декілька етапів. На початковій стадії активізується мезофільна мікрофлора, яка швидко розкладає легкодоступні органічні сполуки. У подальшому температура субстрату підвищується, що сприяє розвитку термофільних мікроорганізмів та інтенсивній мінералізації органічної речовини. Завершальний етап характеризується поступовою стабілізацією компосту, зниженням температури та утворенням гумусових сполук.

Ефективність процесу компостування залежить від багатьох факторів, серед яких найбільше значення мають вологість, температура, аерація та співвідношення

вуглецю і азоту. Для нормального перебігу аеробних процесів необхідний достатній доступ кисню, тому компостну масу періодично перемішують. За недостатньої аерації активізуються анаеробні процеси, що супроводжуються накопиченням токсичних продуктів розкладу [10].

Важливим фактором є також співвідношення вуглецю та азоту (C:N), оскільки саме воно визначає активність мікроорганізмів та швидкість розкладу органічної речовини. Оптимальним для компостування вважається співвідношення 25:1–30:1. За надлишку азоту можливе накопичення амонійних сполук та підвищення токсичності субстрату, тоді як надлишок вуглецю сповільнює процеси мінералізації.

Особливу увагу в сучасних дослідженнях приділяють біокомпостам, отриманим із різних типів органічної сировини. Рослинні залишки, харчові відходи та гній суттєво відрізняються за хімічним складом, вмістом азоту, швидкістю розкладу та особливостями мікробіологічних процесів. Це безпосередньо впливає на властивості кінцевого продукту [13].

Біокомпости на основі рослинних решток зазвичай характеризуються більш стабільним перебігом компостування та нижчим ризиком накопичення токсичних сполук. Натомість компости з харчових відходів можуть містити значну кількість легкорозкладних органічних речовин, що сприяє швидкому бродінню та накопиченню органічних кислот. Компости на основі гною відзначаються високим вмістом азоту та активними процесами мінералізації.

У сучасному землеробстві біокомпости розглядаються як важливий елемент екологізації агровиробництва. Їх застосування сприяє підвищенню вмісту органічної речовини у ґрунті, покращенню його структури, водоутримувальної здатності та біологічної активності. Крім того, компости дозволяють частково зменшити потребу у мінеральних добривах та сприяють формуванню більш стійких агроєкосистем [2].

Водночас ефективність використання біокомпостів значною мірою залежить від їхньої якості та ступеня зрілості. Незрілі або неправильно підготовлені компости можуть містити фітотоксичні речовини, що негативно впливають на

проростання насіння та ріст рослин. Саме тому важливим етапом оцінки біокомпостів є визначення їх фізико-хімічних властивостей та проведення біотестування.

Таким чином, біокомпостування є одним із найбільш перспективних напрямів утилізації органічних відходів, який поєднує екологічну безпечність, економічну доцільність та можливість повторного використання органічної речовини у сільському господарстві. Разом із тим необхідною умовою ефективного використання біокомпостів є оцінка їхньої якості та відсутності фітотоксичного впливу на рослини.

1.2. Фізико-хімічні властивості біокомпостів та фактори їх формування

Фізико-хімічні властивості біокомпостів є одним із ключових показників, що визначають їх агрономічну цінність, екологічну безпечність та вплив на ріст і розвиток рослин. Саме сукупність фізичних та хімічних характеристик компосту відображає ступінь трансформації органічної речовини, активність мікробіологічних процесів та рівень стабілізації субстрату. Від цих показників залежить можливість використання компосту як органічного добрива або ґрунтополіпшувача [13].

У процесі компостування органічна сировина зазнає складних біохімічних перетворень, унаслідок яких змінюються її структура, хімічний склад та фізичні властивості. Інтенсивність цих змін залежить від типу вихідної сировини, умов компостування, вологості, температури, рівня аерації та активності мікроорганізмів. У результаті поступового розкладу органічної речовини формується стабілізований субстрат із певними фізико-хімічними характеристиками [15].

Одним із найважливіших показників якості біокомпосту є кислотність середовища (рН). Значення рН суттєво впливає як на активність мікроорганізмів у процесі компостування, так і на подальший вплив компосту на рослини. На початкових стадіях розкладу органічної речовини часто спостерігається

підкислення середовища внаслідок накопичення органічних кислот, що утворюються під час ферментації легкодоступних органічних сполук. Надалі, у міру стабілізації субстрату та мінералізації азотовмісних компонентів, кислотність поступово наближається до нейтральних значень.

Для більшості зрілих компостів характерний рН у межах від слабокислого до слабколужного. Саме такий діапазон вважається найбільш сприятливим для більшості культурних рослин, оскільки забезпечує оптимальну доступність елементів живлення та нормальне функціонування кореневої системи. Водночас значні відхилення кислотності можуть негативно впливати на фізіологічні процеси рослин. Надмірно кисле середовище здатне пригнічувати проростання насіння, порушувати проникність клітинних мембран та знижувати активність ферментативних систем. За лужної реакції середовища можливе накопичення амонійних сполук, які у високих концентраціях проявляють токсичний вплив [15].

Важливим фізико-хімічним показником є також вологість компосту. Вода необхідна для підтримання життєдіяльності мікроорганізмів та перебігу біохімічних реакцій. За недостатньої вологості активність мікробіоти суттєво знижується, що уповільнює процеси мінералізації органічної речовини. Надмірне зволоження, навпаки, призводить до погіршення аерації та розвитку анаеробних процесів, унаслідок чого можуть накопичуватися токсичні продукти розкладу, зокрема органічні кислоти, аміак та сірководень [1].

Не менш важливим фактором є температурний режим компостування. У процесі активного мікробіологічного розкладу температура компостної маси може значно підвищуватися. Підвищення температури є важливим показником активності біохімічних процесів та сприяє частковому знезараженню субстрату. Високі температури забезпечують знищення значної частини патогенних мікроорганізмів, насіння бур'янів та окремих шкідливих організмів. Разом із тим надмірне перегрівання може пригнічувати окремі групи корисної мікрофлори та порушувати стабільність процесу компостування.

Суттєве значення для формування властивостей біокомпостів має співвідношення вуглецю та азоту (C:N). Цей показник визначає інтенсивність

розвитку мікроорганізмів і швидкість розкладу органічної речовини. Органічні матеріали з високим вмістом азоту, наприклад харчові відходи або гній, швидко розкладаються, однак можуть сприяти накопиченню амонійних сполук та появі неприємного запаху. Натомість матеріали з високим вмістом вуглецю, такі як сухе листя, солома або тирса, розкладаються повільніше, але забезпечують кращу структуру компостної маси та стабільніший перебіг процесу компостування [15].

На фізико-хімічні властивості біокомпостів істотно впливає рівень аерації. Аеробні мікроорганізми потребують постійного доступу кисню для ефективного розкладу органічної речовини. За недостатнього перемішування компостної маси або її надмірного ущільнення зменшується надходження кисню, що сприяє переходу до анаеробних процесів. У таких умовах утворюються леткі жирні кислоти, спирти та інші токсичні речовини, здатні пригнічувати ріст рослин.

Важливою характеристикою компосту є ступінь його зрілості. Зрілий компост має однорідну структуру, темне забарвлення, помірну вологість та відсутність різкого запаху. Крім того, для зрілого компосту характерні стабільні значення рН і зниження інтенсивності біологічних процесів. Незрілі компости, навпаки, містять значну кількість нестабільних органічних сполук та продуктів неповного розкладу, які можуть проявляти фітотоксичну дію [8].

Окрему роль у формуванні фізико-хімічних властивостей відіграє тип вихідної сировини. Компости, виготовлені переважно з рослинних решток, зазвичай характеризуються більш стабільною структурою та нижчим ризиком токсичності. Харчові відходи містять значну кількість легкодоступних органічних речовин і вологи, тому процеси їх розкладу відбуваються інтенсивніше. Компости на основі гною відзначаються підвищеним вмістом азоту та активнішими процесами мінералізації [16].

У процесі компостування також відбувається зміна структури органічної речовини та утворення гумусових сполук. Саме гумусові речовини значною мірою визначають позитивний вплив компостів на ґрунт і рослини. Вони покращують агрофізичні властивості ґрунту, підвищують його буферність, сприяють накопиченню вологи та активізують розвиток ґрунтової мікрофлори [1].

Таким чином, фізико-хімічні властивості біокомпостів формуються під впливом комплексу взаємопов'язаних факторів, серед яких визначальне значення мають тип органічної сировини, умови компостування та ступінь стабілізації органічної речовини. Саме ці показники визначають якість компосту, його безпечність та можливість використання у сільському господарстві. Для об'єктивної оцінки агрономічної придатності біокомпостів необхідне комплексне вивчення їх фізико-хімічних характеристик у поєднанні з біологічними методами контролю.

1.3. Фітотоксичність біокомпостів та причини її виникнення

Одним із найважливіших критеріїв оцінки якості біокомпостів є їх фітотоксичність, тобто здатність негативно впливати на проростання насіння, ріст і розвиток рослин. Незважаючи на те, що компости розглядаються як цінні органічні добрива та джерело гумусових речовин, за певних умов вони можуть містити сполуки, які пригнічують фізіологічні процеси рослинного організму. Саме тому оцінка фітотоксичності є необхідним етапом визначення придатності компостів для використання у сільському господарстві [8].

Фітотоксичний ефект найчастіше проявляється у зниженні схожості насіння, пригніченні росту кореневої системи, уповільненні розвитку проростків та порушенні водного обміну рослин. Особливо чутливою до токсичних речовин є коренева система проростків, оскільки саме вона першою контактує з компонентами субстрату та поглинає водорозчинні сполуки. Тому зміни довжини кореня вважаються одним із найбільш інформативних показників фітотоксичності [14].

Причини виникнення токсичного впливу біокомпостів є комплексними та пов'язані насамперед із неповною стабілізацією органічної речовини. У процесі розкладу органічних матеріалів утворюється велика кількість проміжних продуктів мінералізації, частина з яких може негативно впливати на рослини. Особливо часто

токсичність спостерігається у незрілих компостах, де процеси біохімічної трансформації ще не завершені.

Однією з основних причин фітотоксичності є накопичення органічних кислот. На ранніх етапах компостування мікроорганізми активно розкладають легкодоступні органічні сполуки, у результаті чого утворюються оцтова, масляна, молочна та інші кислоти. За високих концентрацій ці речовини можуть порушувати проникність клітинних мембран, пригнічувати ферментативні процеси та ускладнювати проростання насіння. Найчастіше підвищений вміст органічних кислот характерний для компостів із харчових відходів, що містять значну кількість легкорозкладної органіки [14].

Важливим фактором токсичності є також накопичення амонійних сполук. У процесі мінералізації азотовмісних компонентів органічної сировини відбувається утворення амонійного азоту. У невеликих кількостях він є важливим джерелом живлення для рослин, однак за надлишку може проявляти токсичний вплив. Високі концентрації амонію здатні пригнічувати ріст кореневої системи, порушувати водний баланс рослин та змінювати кислотність середовища. Найбільш характерною ця проблема є для компостів на основі гною або харчових відходів із високим вмістом азоту [15].

Фітотоксичність також може бути пов'язана з недостатньою аерацією компостної маси. За дефіциту кисню активізуються анаеробні процеси розкладу органічної речовини, унаслідок чого утворюються токсичні продукти бродіння — леткі жирні кислоти, спирти, аміак та сірководень. Такі речовини негативно впливають на фізіологічний стан рослин і можуть суттєво пригнічувати проростання насіння [10].

На рівень токсичності компостів впливає також тип вихідної сировини. Рослинні залишки зазвичай характеризуються більш поступовим і стабільним перебігом компостування, тому ризик накопичення токсичних сполук у таких субстратах є нижчим. Натомість харчові відходи містять значну кількість вологи та легкодоступних органічних речовин, що сприяє інтенсивному бродінню та утворенню проміжних токсичних продуктів. Компости на основі гною

відзначаються високим вмістом азотних сполук та активними процесами мінералізації, що також може впливати на рівень їх фітотоксичності [18].

Суттєве значення має ступінь зрілості компосту. Зрілий компост характеризується стабілізацією органічної речовини, зниженням мікробіологічної активності, відсутністю різкого запаху та формуванням гумусових сполук. У процесі дозрівання токсичні проміжні продукти поступово мінералізуються або переходять у стабільні форми, тому рівень фітотоксичності значно знижується. Незрілі компости, навпаки, можуть містити значну кількість нестабільних органічних сполук, що негативно впливають на рослини [19].

Водночас біокомпости можуть проявляти не лише токсичний, але й стимулюючий вплив. За умов повної стабілізації органічної речовини та оптимального хімічного складу компости здатні активізувати проростання насіння та стимулювати ріст проростків. Такий ефект пояснюється наявністю гумінових речовин, доступних макро- та мікроелементів, а також біологічно активних сполук, які позитивно впливають на фізіологічні процеси рослин.

Гумусові кислоти здатні покращувати проникність клітинних мембран, активізувати ферментативну діяльність та стимулювати розвиток кореневої системи. Крім того, зрілі компости можуть містити корисну мікрофлору, яка позитивно впливає на біологічну активність субстрату та пригнічує розвиток окремих патогенних організмів [12].

Важливо зазначити, що рівень фітотоксичності не завжди можна визначити лише за фізико-хімічними показниками. Навіть компости з оптимальними значеннями рН та задовільними агрохімічними характеристиками можуть проявляти токсичний вплив через наявність окремих органічних сполук, які не визначаються стандартними методами аналізу. Саме тому для оцінки якості компостів широко використовують методи біотестування, які дозволяють визначити інтегральний вплив субстрату на живі організми [14].

У сучасних дослідженнях фітотоксичність компостів розглядається як один із найбільш інформативних показників їх біологічної зрілості та безпечності. Визначення токсичного або стимулюючого впливу дозволяє оцінити придатність

компостів для використання у рослинництві та запобігти внесенню у ґрунт нестабілізованих органічних субстратів.

Таким чином, фітотоксичність біокомпостів формується під впливом комплексу взаємопов'язаних факторів, серед яких найбільше значення мають тип органічної сировини, ступінь стабілізації органічної речовини, умови компостування та накопичення проміжних продуктів розкладу. Комплексна оцінка фітотоксичності є необхідною умовою визначення якості та агрономічної придатності біокомпостів.

1.4. Біотестування як метод оцінки якості біокомпостів

У сучасних екологічних та агробіологічних дослідженнях біотестування є одним із найбільш поширених методів оцінки якості органічних субстратів, ґрунтів та компостів. Особливого значення цей підхід набуває при дослідженні біокомпостів, оскільки дозволяє визначити не лише їх фізико-хімічні характеристики, але й реальний вплив на живі організми. На відміну від окремих хімічних аналізів, які характеризують лише вміст певних сполук, біотестування забезпечує інтегральну оцінку сукупної дії всіх компонентів субстрату [7].

Біотестування ґрунтується на використанні живих організмів як індикаторів стану середовища. Реакція тест-об'єктів на дію досліджуваного субстрату дозволяє оцінити його токсичність, рівень біологічної активності та придатність для використання у рослинництві. Найчастіше для цього використовують рослинні тест-системи, оскільки рослини є чутливими до змін хімічного складу середовища та швидко реагують на наявність токсичних сполук [9].

Однією з головних переваг біотестування є його висока чутливість. Навіть невеликі концентрації токсичних речовин можуть викликати помітні зміни у рості та розвитку рослин, що робить цей метод ефективним для оцінки якості компостів. Крім того, біотестування є відносно простим у виконанні, не потребує складного обладнання та дозволяє отримати результати у короткі терміни [7].

Особливо важливим є використання біотестування для оцінки зрілості компостів. У процесі компостування органічна речовина проходить декілька стадій трансформації, під час яких можуть утворюватися токсичні продукти розкладу. Навіть за оптимальних показників кислотності або вмісту поживних речовин компост може містити речовини, що пригнічують проростання насіння та ріст рослин. Саме тому біотестування вважається одним із найбільш об'єктивних методів оцінки безпечності органічних субстратів [7].

Для проведення біотестування найчастіше використовують швидкоростучі тест-культури, які характеризуються високою чутливістю до токсичних сполук. До таких рослин належать крес-салат, редис, салат, пшениця, жито та інші культури. Вибір тест-об'єкта залежить від мети дослідження, однак у більшості випадків перевагу надають видам із коротким періодом проростання та добре вираженою реакцією на зміни середовища.

Однією з найбільш поширених тест-культур у дослідженнях компостів є *Raphanus sativus* L. — редька посівна. Насіння цієї рослини характеризується швидким проростанням, високою чутливістю до токсичних речовин та зручністю використання у лабораторних умовах. Крім того, коренева система редису швидко реагує на зміни хімічного складу середовища, що дозволяє ефективно оцінювати рівень токсичності досліджуваних субстратів.

У процесі біотестування найчастіше оцінюють такі показники, як схожість насіння, довжина кореня та довжина проростка. Схожість насіння характеризує загальну здатність рослин до проростання за впливу досліджуваного субстрату. Зниження цього показника може свідчити про наявність токсичних речовин або несприятливих умов для розвитку рослин [9].

Одним із найбільш чутливих показників є довжина кореня. Коренева система безпосередньо контактує із середовищем та першою реагує на наявність токсичних сполук. Саме тому пригнічення росту кореня часто спостерігається навіть за незначного рівня токсичності. Довжина проростка також є важливим показником, який характеризує загальний фізіологічний стан рослини та інтенсивність ростових процесів [9].

Для оцінки фітотоксичності компостів широко застосовують метод водних витяжок. Такий підхід дозволяє визначити вплив водорозчинних компонентів субстрату, які є найбільш доступними для рослин. Водні екстракти готують шляхом змішування компосту з дистильованою водою у певному співвідношенні з подальшим настоюванням та фільтруванням. Отримані витяжки використовують для зволоження фільтрувального паперу або субстрату, на якому пророщують насіння тест-культури.

Використання саме водних екстрактів є науково обґрунтованим, оскільки у природних умовах рослини поглинають переважно розчинені у ґрунтовому розчині сполуки. Таким чином, метод дозволяє оцінити потенційний вплив найбільш мобільних компонентів компосту на рослинний організм.

Важливою перевагою біотестування є можливість оцінки не лише токсичного, але й стимулюючого впливу компостів. Зрілі біокомпости можуть містити гумінові речовини, амінокислоти, доступні макро- та мікроелементи, які позитивно впливають на проростання насіння та розвиток проростків. У таких випадках спостерігається збільшення довжини кореня та проростка порівняно з контролем [7].

Для підвищення об'єктивності оцінки результатів біотестування використовують інтегральні показники — індекс фітотоксичності та індекс проростання. Вони дозволяють кількісно оцінити рівень токсичного або стимулюючого впливу та порівнювати результати між різними варіантами досліду [8].

У сучасних дослідженнях біотестування широко застосовується не лише для оцінки компостів, але й для контролю якості ґрунтів, стічних вод, осадів, органічних добрив та інших об'єктів довкілля. Це свідчить про універсальність і високу інформативність даного методу [17].

Таким чином, біотестування є ефективним, чутливим та науково обґрунтованим методом оцінки якості біокомпостів. Його застосування дозволяє визначити реальний вплив органічних субстратів на рослини, оцінити ступінь їхньої зрілості та безпечності, а також виявити потенційний токсичний або

стимулюючий ефект. Саме тому біотестування займає важливе місце у сучасних дослідженнях, пов'язаних із оцінкою агрономічної придатності біокомпостів.

Отже, аналіз літературних джерел свідчить, що біокомпостування є перспективним та екологічно безпечним способом утилізації органічних відходів і важливим напрямом сучасного органічного землеробства. Встановлено, що якість біокомпостів значною мірою залежить від типу вихідної сировини, умов компостування та ступеня стабілізації органічної речовини.

Показано, що навіть за наявності оптимальних фізико-хімічних показників окремі види компостів можуть проявляти токсичний вплив на рослини через накопичення органічних кислот, амонійних сполук та інших продуктів розкладу. Особливо актуальною є проблема оцінки компостів, отриманих із харчових відходів та гнойової сировини.

Встановлено, що одним із найбільш інформативних методів оцінки якості компостів є біотестування, яке дозволяє визначити реальний вплив субстрату на проростання насіння та ріст рослин. Для комплексної оцінки фітотоксичності доцільним є використання інтегральних показників, зокрема індексу фітотоксичності та індексу проростання.

Незважаючи на значну кількість досліджень у цій сфері, питання порівняльної оцінки біокомпостів різного походження залишається актуальним, оскільки різні типи органічної сировини можуть суттєво відрізнятися за характером впливу на рослини.

У зв'язку з цим доцільним є проведення дослідження, спрямованого на оцінку фітотоксичної дії біокомпостів, отриманих із рослинних решток, харчових відходів та гною, із використанням біотестування на тест-культурі *Raphanus sativus* L. та інтегральних показників оцінки токсичності.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ФІТОТОКСИЧНОЇ ДІЇ РІЗНИХ ВИДІВ БІОКОМПОСТІВ

Об'єктом дослідження були різні види біокомпостів, отриманих із органічної сировини різного походження. Для порівняльної оцінки використовували три типи біокомпосту:

1. Біокомпост на основі рослинних решток (листя, скошена трава, подрібнені стебла овочевих культур).
2. Біокомпост на основі харчових відходів (овочеві та фруктові очищення, кавова гуща, рослинні кухонні відходи).
3. Біокомпост на основі гною та рослинної маси (перепрілий гній із додаванням соломи або подрібнених рослинних залишків).

Першим етапом нашого дослідження було визначення рН отриманих компостів. Кислотність (рН) біокомпостів визначали з метою оцінки їх хімічних властивостей, що можуть впливати на проростання насіння та ріст рослин. Відомо, що надмірно кисле або лужне середовище може зумовлювати пригнічення ростових процесів та виступати одним із факторів фітотоксичності.

Для визначення кислотності використовували водну витяжку біокомпосту. Зразки готували наступним чином: відбирали 10 г повітряно-сухого компосту, додавали 50 мл дистильованої води (співвідношення 1:5). Суміш ретельно перемішували та настоювали протягом 30 хвилин. Після відстоювання вимірювали рН за допомогою лабораторного рН-метра.

Оцінку кислотності проводили за наступними критеріями:

- $\text{pH} < 5,5$ - кисле середовище, можливе накопичення органічних кислот та фітотоксичність;
- $\text{pH} 6,0 - 7,5$ - нейтральне середовище, оптимальне для росту рослин;
- $\text{pH} > 7,5$ - слабколужне середовище, можливий надлишок амонійних сполук.

Наступним етапом нашого дослідження було проведено біологічний аналіз методом біотестування. Як тест-об'єкт використовували насіння редьки посівної (*Raphanus sativus* L.), яке характеризується високою чутливістю до токсичних речовин та широко застосовується у фітотестуванні органічних субстратів.

Дослідження проводили в лабораторних умовах протягом одного вегетаційного сезону 2026 року.

Було сформовано 4 варіанти досліду:

- Контроль - зволожений інертний субстрат без додавання компосту;
- Варіант 1 - екстракт біокомпосту з рослинних решток;
- Варіант 2 - екстракт біокомпосту з харчових відходів;
- Варіант 3 - екстракт біокомпосту на основі гною.

Для кожного варіанта використовували по 20 насінин.

Для оцінки фітотоксичності застосовували метод водних витяжок. Зразки біокомпосту висушували до повітряно-сухого стану, подрібнювали та просіювали через сито з діаметром отворів 2 мм. Водний екстракт готували у співвідношенні 1:10 (маса : об'єм), змішуючи 10 г компосту зі 100 мл дистильованої води [7].

Суміш настоювали протягом 24 годин при кімнатній температурі, після чого фільтрували через паперовий фільтр. Отримані екстракти використовували для зволоження фільтрувального паперу в чашках Петрі.

У стерильні чашки Петрі поміщали подвійний шар фільтрувального паперу, який зволожували 5 мл відповідного екстракту. На папір рівномірно розміщували насіння редису. Чашки інкубували в термостаті за температури 22–24 °C протягом 5 діб.

Після завершення пророщування визначали такі показники: схожість насіння у %, середню довжину кореня, мм, середню довжину проростка, мм, індекс росту та індекс фітотоксичності.

Для визначення рівня токсичного впливу біокомпостів використовували індекс фітотоксичності (А), який характеризує ступінь пригнічення росту

підземної та надземної частини рослин. Первинну оцінку токсичного впливу проводили шляхом порівняння показників дослідних варіантів із контролем.

Критерієм наявності токсичності вважали зниження досліджуваних показників на 20 % і більше порівняно з контролем.

Індекс розраховували за формулою [7]:

$$A = \frac{X_k - X_d}{X_k} * 100\% \quad (2.1)$$

Де А- довжина коренів(паростків) у досліді відносно контролю;

X_k- середня довжина кореня у контролі, мм.

X_d- середня довжина кореня у досліді, мм.

Цей показник відображає, наскільки зменшився ріст рослин у досліді відносно контролю.

Для оцінки фітотоксичності біокомпостів доцільно використовувати не лише індекс інгібування росту, а й інтегральний індекс проростання (Germination Index, GI). На відміну від класичного індексу фітотоксичності, що відображає лише ступінь пригнічення росту кореня або проростка відносно контролю, показник GI враховує одночасно схожість насіння та інтенсивність росту проростків. Це є особливо важливим для досліджень біокомпостів, які можуть проявляти не лише токсичний, але й стимулюючий вплив на тест-культури залежно від ступеня їх зрілості, хімічного складу та походження сировини. Тому використання GI дозволяє більш повно оцінити агрономічну придатність і безпечність біокомпостів [21].

Оскільки біокомпости - це потенційно корисні органічні субстрати, вони можуть проявляти не лише токсичний, але й стимулюючий вплив, саме тому простий індекс токсичності не повністю описує ефект. Тому, для більш повної оцінки використовували індекс проростання (GI) за методикою Zucconi et al. (1985).

Розрахунок проводили за формулою [21]:

$$GI = \frac{Gd \times Ld}{Gk \times Lk} * 100\% \quad (2.2)$$

де:

GI - індекс проростання, %;

Gd - схожість насіння у дослідному варіанті, %;

Ld - середня довжина кореня у досліді, мм;

Gk - схожість насіння у контролі, %;

Lk - середня довжина кореня у контролі, мм.

Інтерпретацію здійснювали за критеріями Zucconi et al.:

- GI < 50 % - висока фітотоксичність;
- 50 - 80 % - помірна фітотоксичність;
- 80 - 100 % - відсутність токсичності;
- >100 % - стимулюючий ефект.

Обробку даних проводили з використанням стандартних програмних засобів Microsoft Excel.

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ФІТОТОКСИЧНОЇ ДІЇ РІЗНИХ ВИДІВ БІОКОМПОСТІВ

Для проведення порівняльної оцінки фітотоксичності різних видів біокомпосту використовували три різні види біокомпостів, отриманих із органічної сировини різного походження. Компостування проводили протягом одного вегетаційного сезону 2026 року.

Перший вид компосту готували на основі рослинних залишків. Використовували скошену траву, сухе листя, подрібнені стебла овочевих культур та дрібних бур'янів без насіння.

Сировину подрібнювали до фракції 1–3 см, ретельно перемішували та зволожували до рівня 60–70 % вологості.

Суміш укладали пошарово. Шар сухого листя, шар зеленої маси, тонкий шар ґрунту. Для активізації процесів мінералізації масу періодично перемішували 1 раз на 7 діб, забезпечуючи аерацію. Тривалість компостування становила 60 діб.

Другий вид компосту отримували з органічних харчових відходів рослинного походження. Використовували овочеві і фруктові залишки, кавову гущу, чайне листя, дрібні рослинні кухонні залишки.

Для стабілізації співвідношення C:N до суміші додавали подрібнений картон або сухе листя у співвідношенні 3:1. Субстрат перемішували, зволожували приблизно до 65 %, після чого компостували. Масу перемішували кожні 5 - 7 діб, контролюючи вологість і відсутність анаеробного запаху. Тривалість дозрівання компосту близько 60 діб.

Третій вид компосту готували із перепрілого гною курячого посліду з додаванням соломи та подрібнених рослинних решток. Компоненти змішували у співвідношенні гній до рослинної маси - 2 : 1. Для покращення аерації додавали

суху солому. Суміш зволожували до 60 % та витримували протягом 60 діб, перемішуючи 1 раз на тиждень.

Завершення процесу компостування визначали за такими ознаками:

- темно-коричневий колір;
- однорідна пухка структура;
- відсутність різкого аміачного або кислуватого запаху;
- стабільний нейтральний або слабколужний рН;
- зниження температури субстрату до кімнатної.

Перед використанням у біотестуванні компости підсушували до повітряно-сухого стану та просіювали через сито та визначали рН.

Визначення кислотності (рН) біокомпостів є важливим етапом їх агрономічної оцінки, оскільки цей показник суттєво впливає на проростання насіння, ріст рослин та доступність поживних елементів. Відомо, що як надмірно кисле, так і надмірно лужне середовище може пригнічувати фізіологічні процеси в рослинах, зокрема порушувати водний баланс, активність ферментів та засвоєння елементів живлення.

У контексті дослідження фітотоксичності біокомпостів визначення рН є доцільним з кількох причин. По-перше, кислотність опосередковано відображає перебіг мікробіологічних процесів у компості та ступінь його стабілізації. Незрілі компости часто характеризуються відхиленням рН у кислу або лужну сторону внаслідок накопичення органічних кислот або амонійних сполук, що може зумовлювати фітотоксичний ефект.

По-друге, навіть за умов біологічної зрілості компостів, їх кислотність може відрізнятися залежно від вихідної сировини. Це, у свою чергу, впливає на хімічний склад субстрату та може частково пояснювати відмінності у біологічній дії на тест-культуру.

По-третє, визначення рН дозволяє підтвердити, що досліджувані зразки перебувають у межах оптимальних значень для росту рослин, і таким чином виключити кислотність як основний фактор фітотоксичності. Це є важливим для

коректної інтерпретації результатів біотестування та зосередження уваги на інших чинниках, зокрема складі органічної речовини.

Отже, визначення кислотності біокомпостів є простим, інформативним і науково обґрунтованим методом, що доповнює результати фітотестування та підвищує достовірність оцінки їх агрономічної придатності. Результати кислотності різних видів компостів представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Кислотність біокомпостів

Варіант	pH	Характеристика
окомпост із рослинних решток	6,7	нейтральний
окомпост із харчових відходів	6,1	слабокислий
окомпост із гною та рослинної маси	7,4	слабколужний

Встановлено, що значення pH досліджуваних біокомпостів знаходилися в межах 6,1–7,4, що відповідає показникам зрілих компостів, описаних у літературі. Найближче до нейтрального значення pH зафіксовано у компості з рослинних решток (6,7), що свідчить про його високу стабільність і зрілість. Біокомпост із харчових відходів характеризувався слабокислою реакцією середовища (pH 6,1), що може бути пов'язано з залишковою присутністю органічних кислот навіть після завершення процесу компостування. Компост на основі гною мав слабколужне середовище (pH 7,4), що узгоджується з даними літератури та може бути зумовлено наявністю продуктів мінералізації азоту.

Отже, всі досліджувані зразки перебували у межах оптимального для рослин pH, а відмінності у фітотоксичності зумовлені не крайніми значеннями кислотності, а особливостями хімічного складу біокомпостів різного походження.

Результати біотестування представлені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Результати біотестування різних видів біокомпосту на вищих рослинах

Raphanus sativus L.

Варіант	Схожість, % середнє значення	Довжина кореня, мм середнє значення	Довжина паростка, мм середнє значення
Контроль	95	42	38
Біокомпост із рослинних решток	92	48	43
Біокомпост із харчових відходів	70	24	22
Біокомпост із гною та рослинної маси	85	35	33

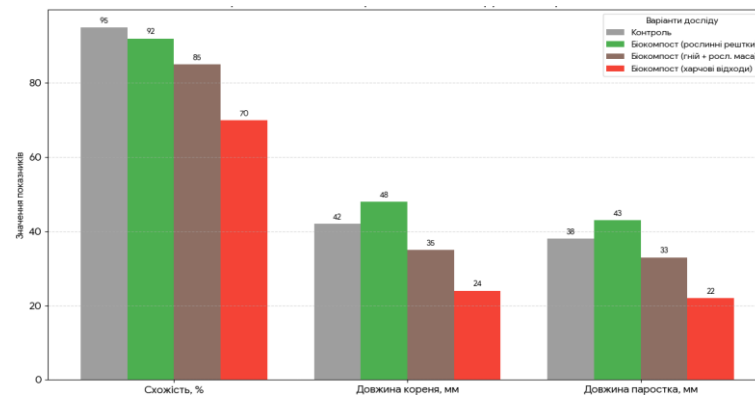


Рис. 3.1 – Морфометричні показники розвитку *Raphanus sativus L.* за впливу різних видів біокомпосту

За результатами біотестування найкращі показники продемонстрував біокомпост, виготовлений із рослинних решток. У цьому варіанті відзначено збільшення довжини кореня на 14,3 % відносно контролю, а індекс проростання (GI) перевищував 100 %, що свідчить про стимулюючий вплив субстрату на ранній розвиток рослин. Такий ефект, ймовірно, пов'язаний із збалансованим вмістом поживних речовин, високим вмістом гумусових кислот і відсутністю шкідливих органічних сполук.

Найвищу фітотоксичність виявлено у варіанті з біокомпостом із харчових відходів. Схожість насіння знизилась до 70 %, а довжина кореня та паростка зменшилася на 42,9 % і 42,1 % відповідно, що свідчить про значне пригнічення росту рослин. Цей ефект можна пояснити високим вмістом органічних кислот,

летких жирних кислот та амонію, які утворюються під час швидкого бродіння не повністю зрілих харчових відходів, а також можливим низьким рН субстрату.

Біокомпост на основі гною та рослинної маси проявив помірну фітотоксичність. Схожість насіння у цьому варіанті становила 85 %, а середня довжина кореня та паростка зменшилася на 16,7 % і 13,2 % відповідно, що відповідає помірному інгібуючому ефекту. Такий результат пов'язаний із залишковим вмістом амонію та іншими продуктами мінералізації органіки, які ще не повністю нейтралізовані в компості.

Для об'єктивної оцінки впливу біокомпостів різного походження на ріст і розвиток тест-культури недостатньо використовувати лише абсолютні показники (схожість насіння, довжина кореня чи проростка), оскільки вони не дають узагальненої кількісної характеристики біологічного ефекту. У зв'язку з цим доцільним є застосування інтегральних індексів, які дозволяють порівнювати результати між варіантами досліду та визначати ступінь токсичного або стимулюючого впливу.

З цією метою у роботі використано два взаємодоповнювальні показники: індекс фітотоксичності (А) та індекс проростання (GI).

Індекс фітотоксичності дозволяє оцінити ступінь інгібування росту рослин у дослідних варіантах порівняно з контролем і є чутливим показником токсичного впливу субстрату. Його застосування є доцільним для виявлення навіть незначного пригнічення ростових процесів, що може бути зумовлене наявністю токсичних сполук.

Водночас, враховуючи, що біокомпости можуть проявляти не лише токсичний, але й стимулюючий ефект залежно від ступеня зрілості та хімічного складу, використання лише індексу фітотоксичності є недостатнім. Тому додатково застосовано індекс проростання (GI), який інтегрує показники схожості насіння та довжини кореня і широко використовується для оцінки якості компостів.

Поєднання цих двох показників дозволяє комплексно оцінити біологічний ефект досліджуваних субстратів; розмежувати токсичний,

нейтральний та стимулюючий вплив та підвищити достовірність інтерпретації результатів дослідження.

Таким чином, застосування індексу фітотоксичності та індексу проростання є науково обґрунтованим та доцільним для проведення порівняльної оцінки біокомпостів. Індеси розраховували за формулами 2.1 та 2.2. Результати розрахунків представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Розрахунок індексу фітотоксичності (A) та індексу проростання (GI)

Варіант	Індекс фітотоксичності A, %	Індекс проростання GI, %	Інтерпретація
Біокомпост із рослинних решток	-14,3	110,7	Стимулюючий ефект
Біокомпост із харчових відходів	42,9	42,1	Висока фітотоксичність
Біокомпост із гною та рослинної маси	16,7	74,6	Помірна фітотоксичність

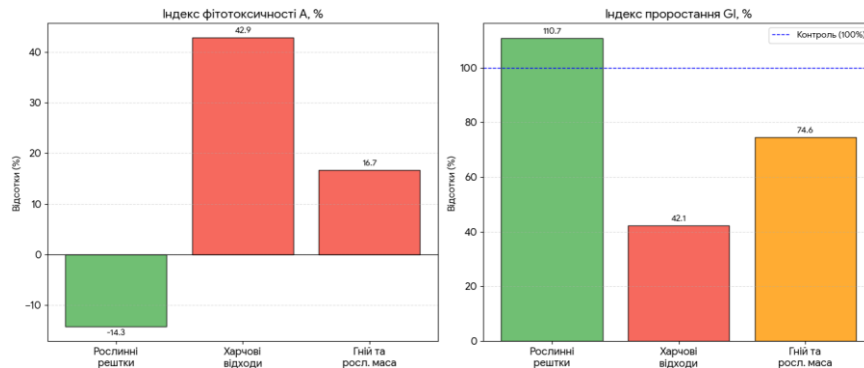


Рис. 3.2 - Порівняльна оцінка фітотоксичності та індексу проростання різних видів біокомпосту на тест-культури *Raphanus sativus* L.

Проведений аналіз біологічної активності субстратів на основі індексу фітотоксичності (A) та індексу проростання (GI) дозволив комплексно оцінити вплив різних видів біокомпостів на тест-культуру *Raphanus sativus* L. Отримані дані свідчать про значну диференціацію властивостей досліджуваних зразків залежно від їхньої сировинної бази та ступеня зрілості.

Найвищу якість та біологічну цінність продемонстрував біокомпост із рослинних решток. Від'ємне значення індексу фітотоксичності (-14,3 %) у поєднанні з високим індексом проростання (110,7 %) вказує не лише на повну відсутність інгібувальних чинників, а й на виражений стимулюючий ефект. Такий результат притаманний зрілим компостам, у яких процеси мінералізації та гуміфікації завершені, а вміст поживних речовин є оптимальним для інтенсифікації ростових процесів.

Натомість біокомпост із харчових відходів виявився найбільш агресивним середовищем, продемонструвавши високу фітотоксичність (42,9 %) при критично низькому рівні GI (42,1 %). Це дозволяє класифікувати даний субстрат як високотоксичний. Подібна депресія росту зазвичай зумовлена наявністю продуктів незавершеного розпаду органіки, зокрема вільних органічних кислот або високої концентрації солей, що робить використання такого компонента без додаткової стабілізації ризикованим для агрофітоценозів.

Проміжне місце в ієрархії якості посів біокомпост із гною та рослинної маси. Показник фітотоксичності на рівні 16,7 % та індекс проростання 74,6 % свідчать про помірне пригнічення тест-об'єкта. Це вказує на те, що субстрат знаходиться на стадії переходу до повної зрілості, проте все ще містить певні стримувальні фактори, які дещо лімітують потенціал проростання насіння.

Підсумовуючи, можна стверджувати, що поєднання двох взаємодоповнювальних індексів дозволило чітко розмежувати досліджувані субстрати за їхнім біологічним впливом. Найбільш перспективним для безпосереднього використання є компост із рослинних решток, тоді як зразки з харчових відходів та гною потребують або довшої витримки, або корекції технології приготування для зниження токсичного навантаження на рослини.

Таким чином, дослідження показали суттєві відмінності у фітотоксичності біокомпостів різного походження. Найбільшу токсичність виявлено у компості із харчових відходів, а найменший вплив на ріст та розвиток рослин спостерігався у компості з рослинних решток, де зафіксовано стимулюючий ефект. Компост з гною та рослинної маси займає проміжне

положення, демонструючи помірний пригнічуючий вплив. Отримані дані підкреслюють важливість врахування типу сировини, ступеня зрілості та фізико-хімічних властивостей компостів при оцінці їхньої якості та придатності для використання в агрономічних практиках.

Результати проведеного біотестування свідчать про суттєві відмінності у впливі біокомпостів різного походження на проростання насіння та ріст тест-культури. Встановлено, що характер цього впливу варіює від стимулюючого до виражено пригнічуючого, що підтверджує залежність фітотоксичності від складу вихідної сировини.

Найкращі показники отримано у варіанті з біокомпостом із рослинних решток. Схожість насіння у цьому випадку практично не відрізнялася від контролю, а довжина кореня та паростка перевищувала контрольні значення. Розрахований індекс фітотоксичності мав від'ємне значення, що свідчить про стимуляцію ростових процесів, а індекс проростання перевищував 100 %. Такий ефект можна пояснити збалансованим складом органічної речовини, оптимальним співвідношенням елементів живлення та наявністю гумусових сполук, які позитивно впливають на розвиток рослин.

Натомість найбільш виражений фітотоксичний ефект виявлено у варіанті з біокомпостом із харчових відходів. У цьому випадку спостерігалось істотне зниження як схожості насіння, так і довжини кореня та паростка. Індекс фітотоксичності перевищував порогове значення 20 %, а індекс проростання знаходився на рівні, що відповідає високій токсичності. Незважаючи на те, що компост був охарактеризований як зрілий, отримані результати можуть бути зумовлені особливостями його складу, зокрема наявністю залишкових продуктів розкладу органічної речовини, таких як органічні кислоти або інші фітотоксичні сполуки.

Біокомпост на основі гною та рослинної маси продемонстрував проміжні результати. Спостерігалось незначне зниження схожості насіння та помірне пригнічення росту проростків. Значення індексу фітотоксичності були близькими до порогових, а індекс проростання відповідав помірному рівню

токсичності. Це може бути пов'язано з підвищеним вмістом азотних сполук, зокрема амонійної форми, яка у певних концентраціях здатна пригнічувати ріст рослин.

Аналіз показників кислотності показав, що значення рН усіх досліджуваних біокомпостів знаходилися в межах 6,1–7,4, що відповідає оптимальному діапазону для більшості сільськогосподарських культур та свідчить про їхню біологічну зрілість. При цьому компост із рослинних решток мав близьке до нейтрального значення рН, компост із харчових відходів — слабокисле середовище, а компост на основі гною — слабколужне. Отримані дані узгоджуються з літературними джерелами та підтверджують, що кислотність не є визначальним фактором виявленої фітотоксичності.

Таким чином, встановлено, що навіть за умов однакового ступеня зрілості біокомпостів їхній вплив на рослини може суттєво відрізнятися. Це свідчить про те, що вирішальне значення мають не лише фізико-хімічні показники, такі як рН, але й якісний склад органічної речовини, походження сировини та наявність біологічно активних або фітотоксичних компонентів.

Отримані результати підтверджують доцільність використання біотестування як інтегрального методу оцінки якості біокомпостів, оскільки саме цей підхід дозволяє виявити їх реальний вплив на рослини, незалежно від формальних показників зрілості.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ДОСЛІДЖЕННЯ БІОКОМПОСТІВ РІЗНОГО ПОХОДЖЕННЯ

Виконання лабораторних досліджень, пов'язаних із оцінкою фітотоксичної дії біокомпостів, включає роботу з органічними субстратами різного ступеня розкладу, водними витяжками, лабораторним обладнанням та тест-культурами рослин. У зв'язку з цим забезпечення безпечних умов праці є обов'язковою складовою дослідження та передбачає дотримання вимог охорони праці, санітарно-гігієнічних норм і правил біологічної безпеки.

Нормативною основою організації безпечної роботи є загальні вимоги до охорони праці в навчально-наукових лабораторіях, правила роботи з біологічними матеріалами, а також інструкції з експлуатації електричного та вимірювального обладнання. Дотримання цих вимог мінімізує ризики впливу небезпечних факторів на дослідника та забезпечує відтворюваність експериментальних умов.

Під час проведення досліджень фітотоксичності біокомпостів можна виділити кілька груп потенційних ризиків.

По перше – це біологічні фактори пов'язані з наявністю у компостах мікроорганізмів, продуктів їх життєдіяльності та спор грибів. Найбільш ризикованими є зразки, виготовлені з харчових відходів і гною, оскільки вони можуть містити підвищену кількість мікробіоти та летких органічних сполук. Контакт із такими матеріалами може спричиняти алергічні реакції, подразнення слизових оболонок або шкіри.

По-друге - хімічні фактори включають дію органічних кислот, амонійних сполук, фенольних речовин та інших продуктів розкладу органічної речовини. Вони можуть проявляти токсичну або подразнювальну дію при вдиханні пилу компосту або при прямому контакті зі шкірою.

По третє - фізичні фактори охоплюють ризики, пов'язані з роботою зі скляним лабораторним посудом, ріжучими інструментами, електрообладнанням

(рН-метр, термостат), а також можливість механічних травм при підготовці зразків (подрібнення, просіювання).

Лабораторні дослідження проводилися у спеціально обладнаному приміщенні з природною та штучною вентиляцією, що забезпечує видалення можливих парів та аерозолів органічних речовин. Робоча поверхня була стійкою до дії вологості та дезінфікуючих розчинів.

Робоче місце організовувалося таким чином, щоб мінімізувати перехреснення “чистих” і “забруднених” зон. Зразки компостів, фільтрувальний матеріал та інструменти зберігалися окремо від приладів вимірювання та стерильного обладнання.

Перед початком роботи проводилася перевірка справності електроприладів, цілісності скляного посуду та наявності необхідних витратних матеріалів.

Під час виконання всіх етапів дослідження використовувалися засоби індивідуального захисту:

- лабораторний халат як базовий захист одягу;
- одноразові латексні рукавички для запобігання контакту зі зразками;
- захисна маска (при роботі з сухими компостами для зменшення ризику вдихання пилу);
- захисні окуляри при роботі з можливими бризками витяжок.

Заборонялося вживати їжу, напої та зберігати сторонні предмети на робочому місці.

Підготовка компостів та водних витяжок проводилася з дотриманням правил мінімізації утворення пилу. Сухі зразки попередньо оброблялися акуратно, без різких механічних впливів.

Усі відходи біологічного походження після завершення експерименту підлягали утилізації відповідно до санітарних вимог.

При використанні рН-метра, термостата та іншого лабораторного обладнання дотримувалися вимог електробезпеки. Основними правилами є:

- заборона роботи з несправними приладами;

- недопущення контакту обладнання з водою;
- використання сухих рук при підключенні та регулюванні приладів;
- контроль температурного режиму термостата та недопущення перегріву.

Пожежна безпека забезпечується шляхом дотримання загальних правил експлуатації електрообладнання та недопущення перевантаження електромережі. У лабораторії повинні бути наявні засоби первинного пожежогасіння (вогнегасник), а проходи до виходів - вільними.

У випадку потрапляння компосту або витяжки на шкіру необхідно негайно промити уражену ділянку великою кількістю води з милом. При потраплянні в очі - промивати водою протягом не менше 10–15 хвилин та звернутися за медичною допомогою.

У разі розливу біологічних матеріалів поверхню слід обробити дезінфікуючим розчином і провести механічне очищення.

При ураженні електричним струмом необхідно відключити живлення, надати першу допомогу та викликати медичних працівників.

Таким чином, дотримання вимог охорони праці під час виконання досліджень фітотоксичної дії біокомпостів є необхідною умовою безпечної організації лабораторної роботи. Комплексний підхід, що включає використання засобів індивідуального захисту, правильну організацію робочого місця та дотримання правил роботи з біологічними і електричними об'єктами, дозволяє мінімізувати ризики та забезпечити безпечне проведення експерименту.

ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень фітотоксичної дії біокомпостів різного походження встановлено наступне:

1. Визначення кислотності (рН) показало, що всі досліджувані біокомпости характеризуються значеннями в межах 6,1–7,4, що відповідає оптимальному діапазону для росту більшості рослин і свідчить про їхню загальну біологічну зрілість. Найбільш наближене до нейтрального середовище мав компост із рослинних решток, слабокисле — компост із харчових відходів, слабколужне — компост на основі гною.

2. Біотестування на *Raphanus sativus* L. виявило суттєві відмінності у впливі досліджуваних біокомпостів на проростання насіння та ріст проростків, що підтверджує залежність їх біологічної дії від походження органічної сировини.

3. Найбільш сприятливий вплив на тест-культуру встановлено для біокомпосту з рослинних решток, який проявив стимулюючий ефект: підвищення довжини кореня та проростка відносно контролю, а також індекс проростання понад 100 %, що свідчить про покращення ростових процесів.

4. Біокомпост із харчових відходів виявив найвищу фітотоксичність, що проявлялося значним зниженням схожості насіння та пригніченням росту кореневої і надземної частин. Це вказує на наявність у ньому залишкових токсичних сполук органічного походження, характерних для неповністю стабілізованих відходів.

5. Біокомпост на основі гною та рослинної маси характеризувався помірною фітотоксичною дією, що проявлялося незначним пригніченням ростових показників і зниженням індексу проростання до рівня середньої токсичності.

6. Розрахунок індексу фітотоксичності (А) та індексу проростання (GI) дозволив інтегрально оцінити біологічний ефект досліджуваних субстратів. Встановлено, що біокомпост із рослинних решток має стимулюючий ефект,

компост із харчових відходів — виражену токсичність, а гнойовий компост — проміжний (помірний) вплив.

7. Отримані результати підтверджують, що рівень фітотоксичності біокомпостів визначається не стільки показниками рН, скільки якісним складом органічної сировини, ступенем її розкладу та наявністю біологічно активних сполук.

8. Використання методу біотестування у поєднанні з фізико-хімічними показниками є ефективним підходом для комплексної оцінки якості біокомпостів та їх агрономічної придатності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Білецька Г. А., Матюшенко І. В. Компостування органічних відходів у побутових умовах. *Природничий альманах*. 2019. № 26. С. 12–18.
2. Бондаренко Л. С. Біокомпости як фактор підвищення родючості ґрунтів. *Науковий вісник НУБіП України*. 2024. № 318. С. 67–73.
3. Гончарук В. В., Литвиненко С. П. Екологічна безпека утилізації органічних відходів. *Екологічна безпека*. 2022. № 2. С. 25–31.
4. ДСТУ 4743:2007. Якість ґрунту. Метод визначення рН водної витяжки. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. С. 1–8.
5. ДСТУ ISO 11269-2:2002. Якість ґрунту. Визначення впливу забруднювачів на проростання рослин. Київ, 2002. С. 1–12.
6. Іваненко С. П. Біотестування як метод оцінки екотоксичності субстратів. *Український екологічний журнал*. 2021. № 3. С. 50–56.
7. Коваленко О. В., Шевченко Т. І. Оцінка якості органічних добрив методом біотестування. *Екологічні науки*. 2023. № 4. С. 112–118.
8. Кравченко Н. О. Агрохімічна оцінка компостів у рослинництві. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2022. № 90. С. 78–84.
9. Крайнюкова А. М. Методика визначення токсичності ґрунтів на вищих рослинах. Київ. УкрНДІЕП. 1997. 17 с.
10. Малиновський В., Мітіна Н. Вплив біопрепаратів на якість компосту при аеробному компостуванні. *Таврійський науковий вісник*. 2025. С. 101–109.
11. Міністерство захисту довкілля України. Національна стратегія управління відходами до 2030 року. Київ, 2023. С. 5–38.
12. Петренко І. М., Кравець О. П. Мікробіологічні процеси в компостуванні органіки. *Мікробіологічний журнал України*. 2023. № 6. С. 14–21.
13. Сакур А. О., Самойленко Н. М., Кутковий Д. О. Компостування як екологічно безпечний метод утилізації органічних відходів. *Аграрні інновації*. 2025. № 33. С. 40–47.

14. Сидоренко Т. В. Фітотоксичність органічних добрив та методи її визначення. *Біологічні системи*. 2020. № 12. С. 33–39.
15. Тихомирова Т. С., Разно М. Р. Дослідження процесу компостування органічних відходів. *Аграрні інновації*. 2025. № 33. С. 44–52.
16. Тихомирова Т. С., Шестопапов О. В. Вплив складу компосту на його агрономічні властивості. *Аграрні інновації*. 2024. № 25. С. 70–78.
17. Фоміна І. Г. Компостування осадів стічних вод у лабораторних умовах. *Вісник Харківського національного університету ім. В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2014. № 21. С. 88–95.
18. Якимович М. В., Тертична О. В., Пінчук В. О. Екологічний вплив та агрономічна цінність компостів із тваринницьких відходів. *Агроекологічний журнал*. 2025. № 2. С. 55–63.
19. Bernal M. P., Alburquerque J. A., Moral R. Composting of animal manures and compost maturity assessment. *Bioresource Technology*. 2009. Vol. 100(22). P. 5444–5453.
20. Epstein E. *The Science of Composting*. Boca Raton : CRC Press, 2011. 487 p.
21. Zucconi F., Pera A., Forte M., De Bertoldi M. Evaluating toxicity of immature compost. *Biocycle*. 1985. Vol. 26(2). P. 54–57.