

МІКРОБОЛОГІЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ТА ЦЕЛЮЛОЗОЛІТИЧНА АКТИВНІСТЬ СІРОГО ЛІСОВОГО ҐРУНТУ ЗА СИСТЕМАТИЧНОГО СИДЕРАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ РЕДЬКИ ОЛІЙНОЇ

ЦИЦЮРА Я. Г. – кандидат сільськогосподарських наук
orcid.org/0000-0002-9167-833X
Вінницький національний аграрний університет

Постановка проблеми. Важливим у плані забезпеченості оптимальних темпів процесів трансформації рослинних решток у ґрунті та супутніх процесів акумуляції відповідних компонентів такого розкладу у ґрунтовому вбирному комплексі є рівень целюлозолітичної активності ґрунту [1, 2]. Рівень целюлозолітичної активності ґрунту за співставлення ґрунтів одного типу є виразом його біологічної активності, який визначає важливу сторону розкладення рослинної біомаси та рослинних решток у ґрунті за рахунок оцінки частки розкладення целюлози, яка є основою будь-яких рослинних тканин [3].

Високі значення цього показника є надійним індикатором позитивних мікробіологічних процесів у ґрунтовому профілі та формують оптимізовані темпи накопичення органічного вуглецю а за певних умов сприяють позитивним зрушенням у динаміці накопичення гумусу [2, 4, 5].

Критерій целюлозолітичної активності ґрунту також розглядається з позиції позитивного ґрунтореабілітаційного потенціалу мікробіоценозу ґрунту, забезпечення якісної інтенсивності процесів мікробіологічної трансформації у ризосфері за співставлення кореневих систем рослин та кореневмісного шару ґрунту [6].

Разом із тим, целюлозолітична активність ґрунту має істотно різні рівні прояву для різних типів ґрунтів [2, 7] та залежить від додаткових факторів інтенсифікації ґрунтового використання, зокрема від комплексу гідротермічних умов території [8, 9], структури посівних площ [10, 11], рівнів та систем удобрення [12, 13], менеджменту рослинних решток на полі [14, 15] та інтенсивності та систем обробітку ґрунту [16].

В цілому целюлозолітична активність ґрунту розглядається як одна із складових чинників потенціалу родючості ґрунтів, оскільки демонструє його потенційні можливості щодо самовідновлення та підтримання оптимальних темпів мікробіологічної активності як кореневмісного шару, так і профілю ґрунту загалом [2, 17]. Дане твердження узгоджується із тим фактом, що інтенсивність розкладення целюлози за рахунок накопичення проміжних компонентів даного процесу сприяє формуванню передумов для агрегації ґрунтових часток, підвищення загальної водостійкості ґрунтових агрегатів, що у підсумку формує позитивну динаміку до підвищення частки агрономічно цінної структури та формування оптимальних параметрів комплексу агрофізичних та водних властивостей ґрунту, їх стійкісні характеристики до розвитку внутрішніх процесів деградації, забезпечує формування сталих процесів реабілітації ґрунтів [18].

Відмічено також позитивну роль і сидерації у зростання даного важливого показника з позиції інтенсивності використання рослинної біомаси, загальної активізації процесів її трансформації у ґрунтах та загальної оптимізації структури мікробіоценозу ґрунту [19, 20].

При цьому вказується на важливість даного параметра у моніторингу ефективності ґрунтового використання та окремих складових застосованих агротехнологій, зокрема системи удобрення, системи сівозмін тощо [2].

Разом із тим, слід зауважити, що питання целюлозолітичної активності ґрунту з огляду на систематичність та інтенсивність застосування сидерації є питанням, яке з огляду на динамізм деградації ґрунтового покриву України, формування дефіциту класичних органічних добрив та зниження рівнів агрохімічного навантаження у технологіях вирощування за рахунок зростання вартісної складової таких компонентів – є питанням актуальним, що потребує додаткового наукового узагальнення, особливо для видів сидератів, які поступово популяризуються на теренах нашої держави.

Матеріали та методика досліджень. Місце проведення досліджень відповідало зоні північної підпровінції правобережної центральної високої провінції (агроґрунтове шифрування ЛС2₁) з повним циклом в 12 років (2014–2025) на дослідному полі Вінницького національного аграрного університету (географічне місцезнаходження N 49°11'31", E 28°22'16"). Ґрунтовий покрив був представлений сірими лісовими ґрунтами. Основні показники агрохімічного потенціалу ґрунтового покриву дослідних ділянок мали такі значення: вміст гумусу 2,68 % легкогідролізованого азоту 81,5 мг/кг, рухомого фосфору 176,1 мг/кг, обмінного калію 110,8 мг/кг за pH_{ккл} 5,8.

Схема дослідів (табл. 1) передбачала періодично-систематичний варіант застосування редьки олійної у варіанті проміжного (літнього) сидерального використання у сівозміні за відсутності інших видів хрестоцвітних рослин. Система удобрення передбачала застосування лише сидерату без додаткового внесення будь-яких агрохімічних компонентів. За контроль було використано у всі проміжні дати обліку варіант з відсутньою сидерацією.

Облік показників було проведено у три основних етапи: 2014 рік – на початку проведення дослідів, 2019 рік – проміжний та 2025 рік – заключний (на весні до посіву відповідної культури згідно схеми чергування).

Облікова площа індикації показників за програмою досліджень 25 м² за 4-х разового повторення. Як сидерат було використано сорт редьки олійної Журавка за

таких параметрів конструювання сидерального агроценозу: кількісна норма висіву 2,5 млн схожих насінин/га, міжряддя 15 см за комбінованого обробітку ґрунту після збору попередника на глибину 12–16 см. Ґрунтову імплементацію сидеральної маси проводили за досягнення рослинами сидерату фази цвітіння з підкошуванням та їх подрібненням та загортанням листостеблової маси сидерату на глибину 14–16 см шляхом дискування важкими дисковими боронами.

Облік показника сформованої сидеральної маси у роки сидерації проводили застосовуючи методом облікових ділянок (1 м² по 4 ділянки для кожного повторення) шляхом прямого одновидового зважування у полі [21].

Таблиця 1

Загальна схема дослідів вивчення впливу систематичної сидерації за використання редьки олійної на параметри ґрунтової родючості

Назва варіанту	Технологічний зміст варіанту
Абсолютний контроль	Відбір зразків ґрунту з ділянок на комплексний аналіз до початку проведення дослідів (базові вихідні параметри дослідів)
Контроль I	Вирощування культур на ділянках без сидерації з таким чергуванням: сорго зернове (2014 рік) – ярий ячмінь (2015 рік) – горох (2016 рік) – ярий ячмінь (2017 рік) – соя (2018 рік)
Сидерація I	Теж чергування культур на ділянці що й у варіанті Контроль I при застосуванні сидерації під такі культури: сорго зернове (2014 рік) – горох (2016 рік) – соя (2018 рік)
Рубіжний контроль показників ґрунту для варіантів Контроль I та Сидерація I у 2019 році до посіву основної культури	
Контроль II	Вирощування культур на ділянках без сидерації з таким чергуванням (продовження варіанту Контроль I): яра пшениця (2019 рік) – соняшник (2020 рік) – озимий горох (2021 рік) – нут (2022 рік) – ярий ячмінь (2023 рік) – кукурудза на зерно (2024 рік)
Сидерація II	Теж чергування культур на ділянці що й у варіанті Контроль II при застосуванні сидерації під такі культури: соняшник (2020 рік) – нут (2022 рік) – кукурудза на зерно (2024 рік)
Рубіжний контроль показників ґрунту для варіантів Контроль II та Сидерація II у 2025 році до посіву основної культури	

Облік кореневої біомаси сидерату проводили застосовуючи метод мікромонолітів адаптований для варіанту редьки олійної [22]. Облік сформованої надземної та кореневої біомаси у сухій речовині проводили за рахунок застосування вмісту сухої речовини у відповідній категорії маси рослин, визначеної термостатно-ваговим методом [21].

Трансформація сидеральної біопродуктивності редьки олійної у еквівалентний вираз органічного

добрива (гній ВРХ) проводили використовуючи дані попередньої тривалої біохімічної оцінки листостеблової та кореневої біомаси редьки олійної [23] та статистичних даних еталонних параметрів різних видів органічних добрив [24, 25].

Мікробіологічний аналіз ґрунту відповідно до схеми обліку (табл. 1) було проведено у 2014 та 2019 році на базі лабораторії Вінницької філії державної установи «Інститут охорони ґрунтів» (м. Вінниця), у 2024 та 2025 році на базі Центру лабораторних досліджень і розробок «МікроБіо Лаба» (м. Теплодар, Одеської області). Даний аналіз включав наступні параметри:

- швидкість мікробного дихання ґрунту (з обліком: базального дихання, мгСО₂/кг ґрунту/год, субстрат-індукованого дихання, мгСО₂/кг ґрунту/год, коефіцієнту мікробного дихання) відповідно до протоколу нормативного методу випробувань М.ЦЛДР 7.2-02-14) [26];
- мікробна біомаса ґрунту, г/кг ґрунту (протокол нормативного методу випробувань М.ЦЛДР 7.2-02-14) [26];
- видова структура еколого-функціональних груп ґрунтових мікроорганізмів (протокол нормативного методу випробувань М.ЦЛДР 7.2-02-13) [26].

Целюлозолітичну активність ґрунту обліковували методом польових аплікацій у 4-х разовому повторенні шляхом закладання лляного полотна у ґрунт з профільним розміщенням по стінці ґрунтової розкопки на довжину фіксації самого полотна на плоскій водостійкій панелі товщиною 4 мм [27, 28]. Зразки полотна у ґрунт закладались на дату визначених схемою початкового, проміжного та заключного обліку (2014, 2019 та 2025 роки) при досягненні ґрунтом стану фізичної стиглості на спеціально виділеній частині ділянки без посіву відповідної культури згідно схеми чергування сільськогосподарських культур у досліді. Такий підхід дозволив оцінити вплив періодичної сидерації на динаміку формування целюлозолітичної активності ґрунту відповідно на початку закладення дослідів (2014 рік), після 3 циклів сидерації у 6 річному періоді (2019 рік) та після 6 циклів сидерації у 12 річному періоді (2025 рік).

Ступінь розкладу лляного полотна (СР, %) в досліджуваних зразках визначався за показником відносної втрати маси на підставі застосування формули 1 з інтервалом 30 та 60 діб. Зразки формувались одночасно у двох варіантах польової інкубації для обліку у два відмічених етапи індикації.

$$CP = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \cdot 100, \quad (1)$$

m_0 – початкова суха маса лляного зразка, г;

m_1 – маса після польової ґрунтової інкубації лляного зразка, г.

Саму оцінку ступеню розкладу лляного зразка оцінювали відповідно до стандартної шкали [29] за такими градаційними значеннями: <10 % – дуже слабка, 10–30 % – слабка, 30–50 % – середня, 50–80 % – сильна, >80 % – дуже сильна.

Для оцінки гідротермічних режимів за загальний період досліджень було застосовано такі показники як: середньодобова температура (°С), кількість опадів (мм), гідротермічний коефіцієнт (ГТК) (рівняння 2) та

коефіцієнтом значущості відхилень (C_{sd}) (рівняння 3) (табл. 2).

$$ГТК = \frac{\sum R}{0.1 \cdot \sum t_{>10}}, \quad (2)$$

де: $\sum R$ – сума опадів за період з температурою вище 10 °C, $\sum t_{>10}$ – сума ефективних температур за період досліджень. Оцінка режиму погоди за показником умов за значенням ГТК: > 1,6 – надмірно вологий, 1,3–1,6 – вологий, 1,0–1,3 – помірно сухий, 0,7–1,0 – сухий, 0,4–0,7 – дуже сухий.

$$C_{sd} = \frac{(X_i - X_{av})}{S}, \quad (3)$$

де: X_i – поточний елемент погоди;

X_{av} – показник середнього багаторічного значення;

S – середнє квадратичне відхилення;

i – порядковий номер року. Рівень C_{sd} : $0 \div 0.5$ (–0.5) – умови близькі до нормальних; $(-1) \div (-2)$ 2 – суттєво відрізняються від багаторічних; >2 (<-2) – близькі до екстремальних.

Для статистичної оцінки отриманих результатів обліків та спостережень було використано стандартні показники аналізу масиву даних [30] за такими параметрами як: середнє арифметичне, стандартне відхилення (SD), коефіцієнт варіації (C_v) (для рівня значущості $p < 0,05$) за використання пакету програм Statistica 10. Для аналізу отриманих показників та ймовірності істотності

значень між варіантами було використано кореляційний та дисперсійний методи аналізу з калькуляцією парних коефіцієнтів кореляції та показника розрахунком найменшої істотної різниці (NIP для $p < 0,05$).

Результати досліджень. Підтверджено як високий біопродуктивний, так і високий адаптивний потенціал редьки олійної за її використання у якості сидеральної культури на ґрунтах з невисоким та середніми потенціалом ґрунтової родючості за умов визначеного режиму нестійкого зволоження (табл. 3) з врахуванням тривалої оцінки культури у системі мультикритерійного аналізу [22, 23]. Такі висновки узгоджуються з результатами середньобагаторічної сидеральної продуктивності редьки олійної за рівня 24,01 т/га у сирій та 4,02 т/га в сухій речовині за визначеного середнього еквівалента класичного гною ВРХ 14,41 т/га.

Разом із тим, встановлена міжрічна варіативність відмічених показників – продуктивності рослин на рівні 34,96 % для отриманої сирової біомаси та 31,93 % для отриманої сухої біомаси – вказує на істотність впливу гідротермічного режиму періоду вегетації редьки олійної на технологічну доцільність її сидерального проміжного використання. Такі твердження позитивно узгоджуються із результатами кореляційного аналізу базових показників погодних умов (табл. 2) та окресленими вище параметрами сидеральної продуктивності культури (табл. 3). По результатах проведеного парного кореляційного

Таблиця 2

Оцінка гідротермічного режиму періоду досліджень (зона Dfa/Dfb за кліматично-режимною класифікацією Кеппена-Гейгера), 2014–2024 рр.

Рік	Сума опадів, мм (IV–X)	$t_{aver}^{\circ}\text{C}$ (IV–X)	Місяці періоду вегетації										$C_{sd\ aver}^{V-IX}$	$t_{aver}^{\circ}\text{C}$	** Сума опадів, мм
			V		VI		VII		VIII		IX				
			X_i	C_{sd}	X_i	C_{sd}	X_i	C_{sd}	X_i	C_{sd}	X_i	C_{sd}			
2014	590,4	14,62	3,93	3,39	1,55	1,00	1,31	0,24	1,05	0,46	1,25	1,10	1,24	0,2	245,5
2015	303,1	15,48	0,92	0,19	0,72	–0,53	0,32	–1,16	0,12	–1,13	1,184	0,97	–0,33	9,5	256,1
2016	406,1	15,33	0,49	–0,26	1,27	0,48	1,06	0,39	0,90	0,46	0,01	–1,17	–0,02	–0,6	325,7
2017	443,1	15,04	0,78	0,04	0,50	–0,92	1,52	1,38	0,82	0,30	3,10	4,47	1,05	–0,4	323,7
2018	444,2	16,39	0,31	–0,45	4,40	6,28	2,16	2,71	0,59	–0,19	1,38	1,33	1,94	0,0	271,0
2019	560,2	15,70	4,90	4,42	1,68	1,25	1,01	0,30	0,24	–0,90	0,99	0,62	1,14	2,9	200,5
2020	589,2	15,64	5,33	4,87	1,55	1,01	0,59	–0,59	0,53	–0,30	0,86	0,38	1,07	–0,3	356,1
2021	459,7	14,33	3,13	2,54	1,68	1,25	0,78	–0,19	1,46	1,61	0,71	0,10	1,06	1,2	216,9
2022	678,7	15,15	1,43	0,74	1,50	0,91	0,90	0,06	1,71	2,13	4,96	7,86	2,34	2,2	278,0
2023	486,9	16,24	0,09	–0,69	1,64	1,18	1,41	1,14	0,65	–0,05	1,02	0,66	0,45	2,9	371,2
2024	481,9	17,94	0,58	–0,17	1,66	1,21	1,19	0,67	0,77	1,46	0,45	–0,38	0,41	1,2	263,8

* – середня середньодобова температура (°C) за період листопад попереднього року – березень наступного;

** – сума опадів (мм) за період листопад попереднього року – березень наступного.

Таблиця 3

Базові показники сидеральної біопродуктивності редьки олійної у варіантах її проміжного (літнього) використання (на фенологічну фазу цвітіння)

Показники	Рік сидерації							
	2014	2016	2018	2020	2022	2024	Середнє	* <i>HIP</i> _{0.5}
Загальна біопродуктивність (надземна та коренева біомаса), т/га	28,8	26,82	28,64	14,38	32,8	12,61	28,8	1,15
Загальна біопродуктивність (надземна та коренева біомаса) у сухій речовині, т/га	4,83	4,69	4,74	2,52	5,09	2,23	4,83	0,33
Розрахунковий еквівалент класичного гною ВРХ, т/га	17,28	16,10	17,18	8,63	19,68	7,57	14,41	0,84

співставлення залежність продуктивності редьки олійної як у сирому, так і у сухому виразах має тісну пряму залежність з сумою опадів 0,741 (при $p < 0,01$) та 0,654 (при $p < 0,01$) відповідно та обернену залежність від показника середньодобової температури $-0,896$ (при $p < 0,01$) та $-0,936$ (при $p < 0,01$) відповідно.

За результатами проведених оцінок застосування досліджуваних варіантів сидерації дозволяє оптимізувати структуру мікробіоценозу сірого лісового ґрунту (табл. 4). Підтвердженням цього є зміна структури еколого-функціональних груп ґрунтової мікробіоти у порівнянні на рубіжні дати обліку. Зокрема за варіантів сидерації у середньорічній динаміці у відносному порівнянні було відмічено наступну динаміку зміни частки педотрофів $+2,93$ %/рік, азотфіксаторів $+2,76$ %/рік, целюлозолітиків $+3,28$ %/рік, оліготрофів $-2,25$ %/рік (за $+1,44$ %/рік на контрольному варіанті).

Такі результати підтвердили висновки ряду досліджень, щодо поліпшення мікробіологічної активності ґрунту за рахунок поповнення кореневмісного шару ґрунтового профілю сидеральною біомасою, яка за умови високого вмісту білкових структур, наявності високих рівнів концентрації як макро, так і мікроелементів та зниженого показника співвідношення С/Н, високого вмісту рослинних жирів та карбогідратів (що в цілому властиво для листостеблової та кореневої біомаси редьки олійної [22, 23]) – забезпечує суттєву інтенсифікацію процесів мікробної трансформації сполук азоту, акумуляції органічного вуглецю, зростання швидкості мікробіологічних реакцій [8, 9, 10, 12, 26, 27].

Слід відмітити також обернений характер динаміки для відмічених груп мікроорганізмів у контрольному варіанті із усередненим співвідношенням за номінальним числовим значенням динаміки на рівні 1,09 для

контрольного варіанту. За рахунок цього, на фоні відсутності будь-якого додаткового органо-мінерального живлення у контрольних варіантах відмічені стійкі процеси певної деградації мікробіологічної структури сірого лісового ґрунту. Такі процеси додатково посилюються з врахуванням відсутності компенсуючого удобрення у дослідній сівозміні при залученні у ґрунтовий колообіг рослинних решток із високим співвідношенням С/Н (характерно для сівозмін, що мають частку зернових та зернобобових культур на рівні 55–65 % [10, 11, 15, 31], що відповідає структурі посіви у схемі даного досліджу).

Відмічені особливості динаміки мікробіоценозу у межах контрольного варіанту було підтверджено прирістним характером динаміки чисельності целюлозолітиків, зокрема $+2,41$ %/рік для біологічної групи целюлозолітичних бактерій та $2,27$ %/рік для біологічної групи целюлозолітичних мікроміцетів.

За рахунок високих вмістів макро та мікроелементів, вже згадуваних білкових структур та рослинних жирів [22, 23] у листостебловій та кореневій масі рослин редьки олійної, її сидеральне використання сприяло також позитивним зрушенням і для інших груп мікроорганізмів, зокрема у середньо багаторічній динаміці при порівнянні контрольного та сидерального варіантів: для фосфатмобілізуючих мікроорганізмів $+2,48$ %/рік, амоніфікаторів $+1,96$ %/рік, амілолітиків $+2,45$ %/рік, нітрифікаторів $+3,11$ %/рік. Це сприяє з огляду на висновки ряду досліджень [9, 11, 12, 32–34] загальній оптимізації ґрунтового живлення, зростання рівня доступності елементів живлення та формуванню вищих рівнів потенціалу ризосферної біоти ґрунту. Позитивною відмічена і динаміка стрептоміцетів ($+1,44$ %/рік), які у ґрунтовому комплексі відповідають за біологічне стримування розвитку ґрунтових грибів патогенів.

Таблиця 4

Потенціал мікробіоценозу сірого лісового ґрунту залежно від варіантів досліджу (для дат обліку 2014, 2019 та 2025 роки)*

Показники	2014	2019		2025	
		Контроль	Сидерація	Контроль	Сидерація
Базальне мікробне дихання ґрунту, $\text{mgCO}_2/\text{кг ґрунту/год}$	4,77 ^a	5,09 ^b	5,35 ^c	5,48 ^c	5,80 ^d
Субстрат-індуковане дихання ґрунту, $\text{mgCO}_2/\text{кг ґрунту/год}$	31,72 ^c	30,72 ^b	33,87 ^d	28,26 ^a	39,05 ^e
Коефіцієнт мікробного дихання ґрунту	0,16 ^b	0,19 ^c	0,16 ^b	0,25 ^d	0,13 ^a
Мікробна біомаса ґрунту, г/кг	30,41 ^c	26,88 ^b	34,22 ^d	22,07 ^a	43,55 ^e
Еколого-функціональні групи ґрунтових мікроорганізмів, КУО/г сухого ґрунту					
Олігонітрофільні та азотфіксувальні бактерії	^a 2,42 · 10 ⁷	^a 2,31 · 10 ⁷	^c 3,05 · 10 ⁷	^b 2,57 · 10 ⁷	^d 3,44 · 10 ⁷
Фосфатмобілізувальні бактерії	^b 3,36 · 10 ⁶	^a 3,21 · 10 ⁶	^c 3,79 · 10 ⁶	^a 3,12 · 10 ⁶	^d 4,08 · 10 ⁶
Стрептоміцети	^a 4,83 · 10 ⁶	^a 4,91 · 10 ⁶	^c 5,24 · 10 ⁶	^b 5,08 · 10 ⁶	^d 6,07 · 10 ⁶
Педотрофи	^a 4,12 · 10 ⁷	^a 4,03 · 10 ⁷	^c 5,22 · 10 ⁷	^b 4,35 · 10 ⁷	^d 5,91 · 10 ⁷
Амоніфікатори	^b 2,68 · 10 ⁷	^a 2,41 · 10 ⁷	^c 3,29 · 10 ⁷	^b 2,81 · 10 ⁷	^d 3,51 · 10 ⁷
Амілолітичні бактерії	^c 4,46 · 10 ⁷	^b 4,21 · 10 ⁷	^d 4,89 · 10 ⁷	^a 3,92 · 10 ⁷	^e 5,11 · 10 ⁷
Оліготрофи	^b 1,39 · 10 ⁷	^b 1,49 · 10 ⁷	^a 1,28 · 10 ⁸	^c 1,63 · 10 ⁸	^a 1,15 · 10 ⁷
Мікроміцети	^a 2,64 · 10 ⁵	^a 2,69 · 10 ⁵	^b 2,86 · 10 ⁵	^b 2,81 · 10 ⁵	^c 3,09 · 10 ⁵
Целюлозолітичні бактерії	^a 1,14 · 10 ⁴	^a 1,19 · 10 ⁴	^c 1,59 · 10 ⁴	^b 1,47 · 10 ⁴	^d 2,18 · 10 ⁴
Целюлозолітичні мікроміцети	^a 1,25 · 10 ⁴	^a 1,31 · 10 ⁴	^b 1,62 · 10 ⁴	^b 1,59 · 10 ⁴	^c 2,17 · 10 ⁴
Нітрифікатори	^a 6,72 · 10 ⁵	^b 7,13 · 10 ⁵	^c 8,06 · 10 ⁵	^a 6,59 · 10 ⁵	^d 9,12 · 10 ⁵

Різні малі літери в таблиці вказують на значущі відмінності між варіантами досліджу для однієї і тієї ж групи мікроорганізмів (для рівня значущості $p < 0,05$).

Враховуючи визначений домінуючий позитивний прирістний характер у структурі основних груп мікробіоти, загальна мікробна біомаса мала також позитивну динаміку росту у співставленні до вихідного контролю – на рівні $+2,83\%$ /рік. При цьому, спираючись на оцінки, що позитивні прирости мікробної біомаси можуть у довготривалому періоді коливатись від $+0,78$ до $3,09\%$ /рік у форматі оптимізованих варіантів біоорганічного удобрення [3, 7, 10, 26] – отриманий показник демонструє високу ефективність систематичного сидерального використання редьки олійної з позиції впливу на мікробіологічний комплекс сірих лісових ґрунтів. З огляду на наростання темпів зростання мікробної маси ґрунту у періодах 2014–2019 рр. та 2019–2024 рр. з різницею у $7,17\%$ в сторону останнього періоду – доведено акумулювативний ефект позитивної дії сидерації на формування вищої мікробної маси ґрунту.

Підтверджено і оптимізації функціональної діяльності самого мікробіологічного комплексу ґрунту. Зокрема зниження коефіцієнту мікробного дихання у динамічному значенні до контролю на рівні $-3,43\%$ /рік, що сигналізує про підвищення функціоналу корисних мікроорганізмів та формування більш продуктивного мікробіоценозу [4]. Відмічено також зростання величини базального та субстрат-індукованого мікробного дихання – градаційний приріст був на рівні $+1,59\%$ /рік та $1,89\%$ /рік відповідно. Враховуючи те, що ріст даного показника позитивно корелює із загальним зростанням мікробіологічного потенціалу ґрунтів [26–28] – застосування редьки олійної у запропонованому технологічному варіанті сидерації формує передумови для істотної активізації якості мікробіологічної активності ґрунту та нормалізації процесів ґрунтової трансформації рослинної органіки за рахунок створення умов постійного потоку сидеральної маси та стимулювання до активної її ґрунтової імплементації, що підтверджено окремими дослідженнями [35, 36]. Зроблені вище узагальнення

знайшли своє підтвердження і в оцінці целюлозолітичної активності ґрунту (рис. 1).

Зокрема застосування варіанту систематичної сидерації істотно підвищило показники целюлозолітичної активності ґрунту із динамічним приростом у співставленні до варіанту абсолютного контролю за показником деструкції лляної тканини у значенні $+2,13\%$ /рік за обліку на 30 добу та $+2,72\%$ /рік за обліку на 60 добу. У варіанті без сидерації відмічено, навпаки, стає зниження показника у значенні для тих же дат обліку $-0,35\%$ /рік та $-0,81\%$ /рік відповідно. Такий характер формування у межах технологічних варіантів Контроль II та Сидерація II наглядно підтверджується даними рисунків 2 та 3.

Встановлена динаміка підтверджує думку про те, що за відсутності активного поповнення ґрунтового профілю рослинною органікою та мінімізації такого поповнення лише за рахунок рослинних решток без належного їх менеджменту та застосування компенсуючого удобрення – формується стагнаційний тип целюлозолітичної активності за загальної негативної тенденції формування показника [26, 37, 38].

Слід також відмітити особливості характеру розкладу лляної тканини за висотним градієнтом. Так, для умов варіанту Контроль II характерним є більш однорідна дія у прив'язці до глибини інкубації з певною динамікою зростання ступеня деструкції по довжині тканини у напрямку ґрунтопоглиблення з максимальним її показником для глибин понад 22 см (рис. 2). Для варіанту Сидерація II градієнт градації чітко виділений та охоплює глибину зону по довжині тканини на рівні 14–23 см (рис. 3). Такі результати підтверджують окремі висновки щодо локаційної дії сидератів чи варіантів органічного удобрення на целюлозолітичну активність ґрунту з позитивною кореляцією з параметрами глибини ґрунтового загортання сидеральної чи органічної маси [32, 33, 39, 40]. Такі висновки узгоджуються із

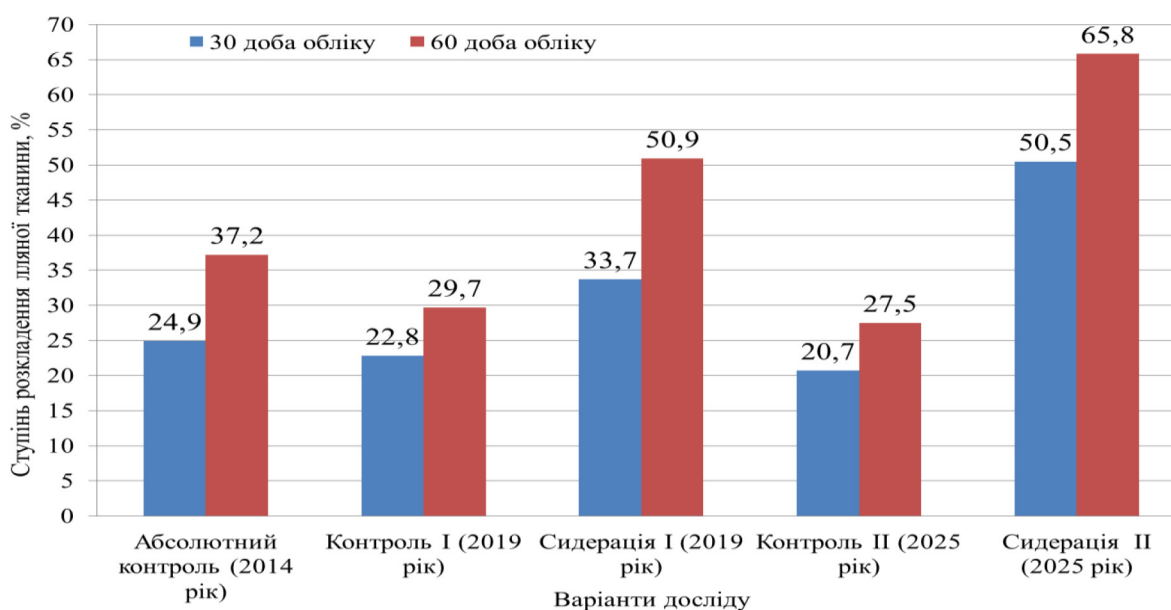


Рис. 1. Целюлозолітична активність сірого лісового ґрунту за різних варіантів та тривалості сидерального утримання ґрунту, 2014–2019 рр. (при загальному $HIP_{05} = 1,19$)



Рис. 2. Ступінь розкладення лляної тканини у варіанті Контроль II на 30-ту добу ґрунтової інкубації (зліва) та на 60-ту добу ґрунтової інкубації (справа), 2025 рік



Рис. 3. Ступінь розкладення лляної тканини у варіанті Сидерація II на 30-ту добу ґрунтової інкубації (зліва) та на 60-ту добу ґрунтової інкубації (справа), 2025 рік

застосованою глибиною загортання сидерату редьки олійної у досліді.

Висновки. За результатами проведених тривалих оцінок системи сидерального утримання сірого лісового ґрунту за використання редьки олійної доведено можливість систематичного застосування варіанту сидерації з технологічною частотою раз на два роки у сівозміні за відсутності інших видів хрестоцвітих за

позитивного впливу як на мікробіологічний, так і на целюлозолітичний потенціал сірого лісового ґрунту за зростання загальної мікробної маси ґрунту у динаміці 1,65 г/кг ґрунту на рік за 12 річний цикл такої сидерації. Доведено загальне зростання частки корисних видів мікроорганізмів у структурі їх еколого-функціональних груп щонайменше на 30 % за той же цикл досліджень.

Суттєво активізована целюлозолітична активність сірого лісового ґрунту із досяжним рівнем показника у значенні 50,5 % та 65,8 % за критерієм розкладення лляної тканини відповідно на 30-ту та 60-ту добу обліку з усередненим коефіцієнтом росту до варіанту без сидерації на рівні 2,41.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

- Hemati A., Nazari M., Asgari Lajayer B., Smith D. L., Astatkie T. Lignocellulosics in Plant Cell Wall and Their Potential Biological Degradation. *Folia Microbiology*. 2022. Vol. 67. P. 671–681.
- Datta R. Enzymatic degradation of cellulose in soil: a review. *Heliyon*. 2024. Vol. 10. e24022.
- Singh R., Pal D. B., Alkhanani M. F., Almalki A. H., Areeshi M. Y., Haque S., Srivastava N. Prospects of Soil Microbiome Application for Lignocellulosic Biomass Degradation: An Overview. *Science of the Total Environment*. 2022. Vol. 838. 155966.
- Zhang M., Dang P., Haegeman B., Han X., Wang X., Pu X., Qin X., Siddique K. H. M. The Effects of Straw Return on Soil Bacterial Diversity and Functional Profiles: A Meta-Analysis. *Soil Biology and Biochemistry*. 2024. Vol. 195. 109484.
- López-Mondéjar R., Algorta C., Baldrian P. Lignocellulolytic Systems of Soil Bacteria: A Vast and Diverse Toolbox for Biotechnological Conversion Processes. *Biotechnology Advances*. 2019. Vol. 37. 107374.
- Dadwal A., Sharma S., Satyanarayana T. Diversity in Cellulose-Degrading Microbes and Their Cellulases: Role in Ecosystem Sustainability and Potential Applications. In *Microbial Diversity in Ecosystem Sustainability and Biotechnological Applications*; Satyanarayana, T., Das, S. K., Johri, B. N., Eds.; Springer: Singapore, 2019. P. 375–402.
- Kovalzhy N. I. Aspects of formation of groups of microorganisms of typical chernozem in the growing of garden strawberry under different fertilization systems and drip irrigation. *Agricultural Microbiology*. 2021. Vol. 34. P. 86–94.
- Rieznik S., Havva D., Dehtiarov V., Pachev I. Dynamics of the Number of Functional Groups of Microorganisms under Different Farming Systems. *Journal of Mountain Agriculture on the Balkans*. 2023. Vol. 26. № 1. P. 549–567.
- Demyanyuk O. S., Patyka V. P., Sherstoboeva O. V., Bunas A. A. Formation of the structure of microbiocenoses of soils agroecosystems depending on trophic and hydrothermic factors *Biosystems diversity*. 2018. Vol. 26 (2). P. 103–110.
- Volkohon V. V., Pyrig O. V., Volkohon K. I., Dimova S. B. Methodological aspects of determining the trend of organic matter mineralization synthesis processes in croplands. *Agricultural Science and Practice*. 2019. Vol. 6. № 1. P. 3–9.
- Dehtiarova Z. The effect of short-term crop rotation with different proportions of sunflower on cellulolytic activity of the soil. *Soil Science Annual*. 2022. Vol. 73. № 4. 156097.
- Rieznik S., Havva D., Butenko A., Novosad K. Biological activity of chernozems typical of different farming practices. *Agrarte adus*. 2021. Vol. 32. № 2. P. 307–313.
- Kovalzhy N., Rieznik S., Butenko A., Havva D., Degtyarjov V., Hotvianska A., Bondarenko O., Nozdrina N. Activity of cellulose-degrading microorganisms in typical chernozem under different fertilization systems of strawberries (*fragaria*). *Agriculture and Forestry*. 2024. Vol. 70. № 3. P. 105–113.
- Rieznik S., Havva D., Chekar O. Enzymatic activity of typical chernozems under the conditions of the organic farming systems. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*. 2021. Vol. LXIV(2). P. 114–119.
- Greff B., Szigeti J., Nagy Á., Lakatos E., Varga L. Influence of Microbial Inoculants on Co-Composting of Lignocellulosic Crop Residues with Farm Animal Manure: A Review. *Environment Managment*. 2022. Vol. 302. 114088.
- Гангур В. В., Сахацька В. М. Мікробіологічна активність ґрунту за різних способів обробітку. *Вісник ПДАА*. 2019. № 4. С. 13–19.
- Ma D., Chen H., Liu D., Feng C., Hua Y., Gu T., Guo X., Zhou Y., Wang H., Tong G., Li H., Zhang K. Soil-derived cellulose-degrading bacteria: screening, identification, the optimization of fermentation conditions, and their whole genome sequencing. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. 2024. Vol. 15. 1409697.
- Коломієць М. Параметрична модель сталої родючості сірого лісового легкосуглинкового ґрунту. *Вісник аграрної науки*. 2022. № 1. С. 5–13.
- Campano C., Balea A., Blanco A., Negro C. Enhancement of the fermentation process and properties of bacterial cellulose: a review. *Cellulose*. 2015. Vol. 23. P. 57–91.
- Lei B., Wang J., Yao H. Ecological and environmental benefits of planting green manure in paddy fields. *Agriculture*. 2022. Vol. 12. № 2. 223.
- Сайко В. Ф. Особливості проведення досліджень з хрестоцвітими олійними культурами. К. : «Інститут землеробства НААН» 2011. 76 с.
- Tsytsiura Y. Ecological adaptive tactics of oil radish root formation at different terms of green manure application. *Journal of Ecological Engineering*. 2025. Vol. 26. № 9. P. 420–439.
- Tsytsiura Y. Potential of oilseed radish (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.) as a multi-service cover crop (MSCC). *Agronomy Research*. 2024b. Vol. 22. № 2. P. 1026–1070.
- Composts & Fertilisers. 2023. NPK Nutritional Values of Animal Manures & Compost Etc. Available online: https://www.allotment-garden.org/composts-fertilisers/npk-nutritional-values-animal-manures-compost/#google_vignette (date of application 14.10.2025 p.).
- Brown C. Available Nutrients and Value for Manure from Various Livestock Types. Factsheet № 21077. AGDEX 538. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Queen's Printer for Ontario. 2021. 10 p.
- Іутинська Г. О. Ґрунтова мікробіологія. Київ : Арістей, 2006. 284 с.
- Щуковський М. А., Величко Л. Л., Новосад К. Б., Казута О. М., Василева Л. І., Тихоненко Д. Г. Мікробіологія ґрунту. Посібник для лабораторних і практичних занять. Харків : ХНАУ ім. В. В. Докучаєва. 2002. 136 с.
- Волкогон, В. В., Надкерчна, О. В., Токмакова, Л. М., Мельничук, Т. М. та Чайковська, Л. О. Експериментальна мікробіологія ґрунтів: монографія. Київ : Аграрна наука. 2010. 464 с.
- Rapa P., Beermann A. Bacterial cellulase. In: *Biosynthesis and Biodegradation of Cellulose*. Haigler

- CH, Weimer PJ, editors. New York : Marcel Dekker. 1991. P. 535–599.
30. Wong J. Handbook of Statistical Analysis and Data Mining Applications (Second Edition). Academic Press. 2018. 880 p.
 31. Chang C., Guo Y., Tang K., Hu Y., Xu W., Chen W., McLaughlin N., Wang Z. Straw from Different Crop Species Recruits Different Communities of Lignocellulose-Degrading Microorganisms in Black Soil. *Microorganisms* 2024. Vol. 12. 938.
 32. Karbivska U. M. Change of indexes of fertility and cellulose activity of soil for growing of cereal grassland depending on a fertilizer. *Plant and Soil Science*. 2019. Vol. 11. № 1. P. 33–41.
 33. Бунас А. А., Чабанюк Я. В., Лобова О. В. Різноманіття бактеріальних ізолятів ризосфери рослин ріпаку. *Агроекологічний журнал*. 2014. № 2. С. 91–95.
 34. Москалевська Ю. П. Біологічна активність та мікробна трансформація органічної речовини чорнозему типового за різних систем землеробства. *Збалансоване природокористування*. 2014. № 2. С. 68–72.
 35. Herman J., Moorhead D., Berg B. The Relationship between Rates of Lignin and Cellulose Decay in Aboveground Forest Litter. *Soil Biology and Biochemistry*. 2008. Vol. 40. P. 2620–2626.
 36. Pollegioni L., Tonin F., Rosini E. Lignin-degrading enzymes. *The FEBS Journal*. 2015. Vol. 282. P. 1190–1213.
 37. Bao W. Screening and genomic analysis of a lignocellulose degrading bacterium. *Acta Microbiologica Sinica*. 2016. Vol. 56. P. 765–777.
 38. Datsko O. M., Zakharchenko E. A. Activity of cellulose-decomposing bacteria under different soil tillage and pre-sowing inoculation of corn. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Agronomy and Biology*. 2023. Vol. 51. № 1. P. 28–36.
 39. Mahanta K., Jha D. K., Rajkhowa D. J., Kumar M. Isolation and evaluation of native cellulose degrading microorganisms for efficient bioconversion of weed biomass and rice straw. *Journal of environmental biology*. 2014. Vol. 35. № 4. P. 721–725.
 40. Bhagat S. A., Kokitkar S. S. Isolation and identification of bacteria with cellulose-degrading potential from soil and optimization of cellulase production. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*. 2021. Vol. 9. P. 154–161.
 5. López-Mondéjar, R., Algora, C., & Baldrian, P. (2019). Lignocellulolytic Systems of Soil Bacteria: A Vast and Diverse Toolbox for Biotechnological Conversion Processes. *Biotechnology Advances*. 37, 107374.
 6. Dadwal, A., Sharma, S., & Satyanarayana, T. (2019). Diversity in Cellulose-Degrading Microbes and Their Cellulases: Role in Ecosystem Sustainability and Potential Applications. In *Microbial Diversity in Ecosystem Sustainability and Biotechnological Applications*; Satyanarayana, T., Das, S. K., Johri, B. N., Eds.; Springer: Singapore.
 7. Kovalzhy, N. I. (2021). Aspects of formation of groups of microorganisms of typical chernozem in the growing of garden strawberry under different fertilization systems and drip irrigation. *Agricultural Microbiology*. 34, 86–94.
 8. Rieznik, S., Havva, D., Dehtiarov, V., & Pachev, I. (2023). Dynamics of the Number of Functional Groups of Microorganisms under Different Farming Systems. *Journal of Mountain Agriculture on the Balkans*. 26(1), 549–567.
 9. Demyanyuk, O. S., Patyka, V. P., Sherstoboeva, O. V., & Bunas, A. A. (2018). Formation of the structure of microbiocenoses of soils agroecosystems depending on trophic and hydrothermic factors. *Biosystems diversity*. 26 (2), 103–110.
 10. Volkohon, V. V., Pyrig, O. V., Volkohon, K. I., & Dimova, S. B. (2019). Methodological aspects of determining the trend of organic matter mineralization synthesis processes in croplands. *Agricultural Science and Practice*. 6(1), 3–9.
 11. Dehtiarova, Z. (2022). The effect of short-term crop rotation with different proportions of sunflower on cellulolytic activity of the soil. *Soil Science Annual*. 73(4), 156097.
 12. Rieznik, S., Havva, D., Butenko, A., & Novosad, K. (2021). Biological activity of chernozems typical of different farming practices. *Agrarteaus*. 32(2), 307–313.
 13. Kovalzhy, N., Rieznik, S., Butenko, A., Havva, D., Degtyarjov, V., Hotvianska, A., Bondarenko, O., & Nozdrina, N. (2024) Activity of cellulose-degrading microorganisms in typical chernozem under different fertilization systems of strawberries (fragaria). *Agriculture and Forestry*. 70(3), 105–113.
 14. Rieznik, S., Havva, D., & Chekar, O. (2021). Enzymatic activity of typical chernozems under the conditions of the organic farming systems. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*. LXIV(2), 114–119.
 15. Greff, B., Szigeti, J., Nagy, Á., Lakatos, E., & Varga, L. (2022). Influence of Microbial Inoculants on Co-Composting of Lignocellulosic Crop Residues with Farm Animal Manure: A Review. *Environment Management* 302, 114088.
 16. Hanhur, V. V., & Sakhatska, V. M. (2019). Mikrobiolohichna aktyvnist gruntu za riznykh sposobiv obrobittu [Microbiological activity of soil under different tillage methods]. *Visnyk PDAA*. 4, 13–19.
 17. Ma, D., Chen, H., Liu, D., Feng, C., Hua, Y., Gu, T., Guo, X., Zhou, Y., Wang, H., Tong, G., Li, H., & Zhang, K. (2024). Soil-derived cellulose-degrading bacteria: screening, identification, the optimization of fermentation conditions, and their whole genome sequencing. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. 15, 1409697.
 18. Kolomiets, M. (2022). Parametrychna model staloi rodiuchosti siroho lisovoho lekosuhlynkovoho gruntu

REFERENCES:

1. Hemati, A., Nazari, M., Asgari Lajayer, B., Smith, D. L., & Astatkie, T. (2022). Lignocellulosics in Plant Cell Wall and Their Potential Biological Degradation. *Folia Microbiology*. 67, 671–681
2. Datta, R. (2024). Enzymatic degradation of cellulose in soil: a review. *Heliyon*. 10, e24022
3. Singh, R., Pal, D. B., Alkhanani, M. F., Almalki, A. H., Areeshi, M. Y., Haque, S., & Srivastava, N. (2022). Prospects of Soil Microbiome Application for Lignocellulosic Biomass Degradation: An Overview. *Science of the Total Environment*. 838, 155966
4. Zhang, M., Dang, P., Haegeman, B., Han, X., Wang, X., Pu, X., Qin, X., & Siddique, K.H.M. (2024). The Effects of Straw Return on Soil Bacterial Diversity and Functional Profiles: A Meta-Analysis. *Soil Biology and Biochemistry*. 195, 109484

- [Parametric model of stable fertility of gray forest light loamy soil]. *Visnyk ahramoi nauky*. 1, S. 5–13 [in Ukrainian].
19. Campano, C., Balea, A., Blanco, A., & Negro, C. (2015). Enhancement of the fermentation process and properties of bacterial cellulose: a review. *Cellulose*. 23, 57–91.
 20. Lei, B., Wang, J., & Yao, H. (2022). Ecological and environmental benefits of planting green manure in paddy fields. *Agriculture*. 2, 223.
 21. Saiko, V. F. (2011). Osoblyvosti provedennia doslidzhen z khrestotsvitymy oliinymy kulturamy [Peculiarities of conducting research on cruciferous oilseed crops]. K. : "Instytut zemlerobstva NAAN" [in Ukrainian].
 22. Tsytsiura, Y. (2025). Ecological adaptive tactics of oil radish root formation at different terms of green manure application. *Journal of Ecological Engineering*. 26(9), 420–439.
 23. Tsytsiura, Y. (2024). Potential of oilseed radish (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.) as a multi-service cover crop (MSCC). *Agronomy Research*. 22(2), 1026–1070.
 24. Composts & Fertilisers. (2023). NPK Nutritional Values of Animal Manures & Compost Etc. Available online: https://www.allotment-garden.org/composts-fertilisers/npk-nutritional-values-animal-manures-compost/#google_vignette (date of application 14.10.2025 p.).
 25. Brown, C. (2021). Available Nutrients and Value for Manure from Various Livestock Types. Factsheet № 21077. AGDEX 538. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Queen's Printer for Ontario.
 26. Iutynska, H. O. (2006). Gruntova mikrobiologhiia [Soil microbiology]. Kyiv : Aristei. [in Ukrainian].
 27. Shchukovskyi, M. A., Velychko, L. L., Novosad, K. B., Kazuta, O. M., Vasyliava, L. I., & Tykhonenko, D. H. (2002). Mikrobiologhiia ґрунту. Posibnyk dlia laboratornykh i praktychnykh zaniat [Soil Microbiology: A Manual for Laboratory and Practical Training]. Kharkiv : KhNAU im. V. V. Dokuchaieva [in Ukrainian].
 28. Volkohon, V. V., Nadkerchna, O. V., Tokmakova, L. M., Melnychuk, T. M., & Chaikivska, L. O. (2010). Eksperymentalna mikrobiologhiia ґруntiv: monohrafiia [Experimental Soil Microbiology: Monograph]. Kyiv : Aharna nauka. [in Ukrainian].
 29. Rapa, P., & Beermann, A. (1991). Bacterial cellulase. In: Biosynthesis and Biodegradation of Cellulose. Haigler CH, Weimer PJ, editors. New York : Marcel Dekker.
 30. Wong, J. (2018). Handbook of Statistical Analysis and Data Mining Applications (Second Edition). Academic Press.
 31. Chang, C., Guo, Y., Tang, K., Hu, Y., Xu, W., Chen, W., McLaughlin, N., & Wang, Z. (2024). Straw from Different Crop Species Recruits Different Communities of Lignocellulose-Degrading Microorganisms in Black Soil. *Microorganisms*. 12, 938.
 32. Karbivska, U. M. (2019). Change of indexes of fertility and cellulose activity of soil for growing of cereal grassland depending on a fertilizer. *Plant and Soil Science*. 11(1), 33–41.
 33. Bunas, A. A., Chabaniuk, Ya. V., & Lobova, O. V. (2014). Riznomanittia bakterialnykh izoliativ ryzosfery roslyn ripaku [Diversity of bacterial isolates from the rhizosphere of rapeseed plants]. *Ahroekologichnyi zhurnal*. 2, 91–95 [in Ukrainian].
 34. Moskalevska, Yu. P. (2014). Biologichna aktivnist ta mikrobna transformatsiia orhanichnoi rechovyny chornozemu typovoho za riznykh system zemlerobstva [Biological activity and microbial transformation of organic matter in typical chernozem under different farming systems]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia*. 2, S. 68–72 [in Ukrainian].
 35. Herman, J., Moorhead, D., & Berg, B. (2008). The Relationship between Rates of Lignin and Cellulose Decay in Aboveground Forest Litter. *Soil Biology and Biochemistry*. 40, 2620–2626.
 36. Pollegioni, L., Tonin, F., & Rosini, E. (2015). Lignin-degrading enzymes. *The FEBS Journal*. 282, 1190–1213.
 37. Bao, W. (2016). Screening and genomic analysis of a lignocellulose degrading bacterium. *Acta Microbiologica Sinica*. 56, 765–777.
 38. Datsko, O. M., & Zakharchenko, E. A. (2023). Activity of cellulose-decomposing bacteria under different soil tillage and pre-sowing inoculation of corn. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Agronomy and Biology*. 51(1), 28–36.
 39. Mahanta, K., Jha, D. K., Rajkhowa, D. J., & Kumar, M. (2014). Isolation and evaluation of native cellulose degrading microorganisms for efficient bioconversion of weed biomass and rice straw. *Journal of environmental biology*. 35(4), 721–725.
 40. Bhagat, S. A., & Kokitkar, S. S. (2021). Isolation and identification of bacteria with cellulose-degrading potential from soil and optimization of cellulase production. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*. 9, 154–161.
- Цицюра Я. Г. Мікробіологічний потенціал та целюлозолітична активність сірого лісового ґрунту за систематичного сидерального використання редьки олійної**
- Метою** досліджень було встановити вплив у тривалого технологічного циклі ротації систематичного застосування сидеральної маси редьки олійної на структуру мікробіологічного комплексу та целюлозолітичну активність сірого лісового ґрунту.
- Методи.** Дослідження було проведено впродовж 2014–2025 років на базі дослідного поля Вінницького НАУ на сірих лісових ґрунтах з середнім потенціалом родючості. Повторність у досліді чотирьохразова. Розміщення варіантів – систематичне у два яруси. Дослід передбачав дослідження ефективності та доцільності довготривалої періодичної (раз на два роки на одному і тому ж полі) сидерації проміжного (літнього) строку у сівозміні без включення інших видів хрестоцвітних культур за 12-ти річний цикл вивчення у співставленні до контрольного варіанту без сидерації та додаткового удобрення.
- Результати.** Встановлена технологічна доцільність регулювання в руслі оптимізації структури еколого-функціональних груп мікробіоти сірого лісового ґрунту з прирістним характером частки корисної її виду на рівні до 30 %, а також істотне зростання целюлозолітичної активності ґрунтового профілю товщиною 0–30 см з середньорічним градієнтом на рівні 2,13 %/рік та 2,38 % рік за функціональним критерієм ступеня деструкції лляної тканини на 30 та 60 добу обліку за умови сталого періодичного використання сидеральної маси редьки олійної у варіанті літнього (проміжного) вирощування. Визначено також наявність істотних

відмін у зміні целюлозолітичної активності ґрунту за сидерального варіанту утримання ґрунту у співставленні до контролю з максимальним її значенням на рівні 14–23 см.

Висновки. Доведено ефективність варіанту сидерального тривалого використання редьки олійної у сівозміні з позиції оптимізуючого впливу на мікробіотичний комплекс сірих лісових ґрунтів. Визначено поліпшення структури мікробіоценозу ґрунту за відносного зростання загальної мікробної маси за повний цикл вивчення на рівні до 50 %, а корисної мікробіоти у співставленні до абсолютного (вихідного) контролю на рівні до 30 %.

Ключові слова: мікробіоценоз, мікробіологічний потенціал, мікробіота ґрунту, целюлоза, розкладення целюлози.

Tsytsiura Ya. H. Microbiological Potential and Cellulolytic Activity of Grey Forest Soil under Systematic Green Manure Use of Oilseed Radish

Purpose. The aim of the research was to determine the effect of a long-term technological rotation cycle with systematic application of oil radish green manure on the structure of the microbiological complex and the cellulolytic activity of grey forest soil.

Methods. The research was conducted from 2014 to 2025 at the experimental field of Vinnytsia National Agrarian University on grey forest soils with medium fertility potential. The experiment was replicated four times. The arrangement of variants was systematic in two tiers. The

study aimed to assess the effectiveness and feasibility of long-term periodic (once every two years on the same field) green manuring of intermediate (summer) crops in crop rotation without including other cruciferous species, over a 12-year study cycle, compared with a control variant without green manuring and additional fertilization.

Results. The technological feasibility of regulation aimed at optimizing the structure of ecological and functional groups of the grey forest soil microbiota was established, with an increase in the proportion of beneficial species by up to 30 %. A significant rise in cellulolytic activity was observed in the 0–30 cm soil profile, with an average annual gradient of 2.13 %/year and 2.38 %/year according to the functional criterion of linen tissue decomposition degree after 30 and 60 days of assessment, respectively, under consistent periodic use of oilseed radish green manure in the summer (intermediate) cultivation variant. Significant differences in the changes of soil cellulolytic activity were also identified under the green manure treatment compared with the control, with maximum values observed at a soil depth of 14–23 cm.

Conclusions. The long-term use of oil radish as green manure in crop rotation proved to be effective in optimizing the microbiotic complex of grey forest soils. An improvement in the soil microbiocenosis structure was recorded: the total microbial biomass increased by up to 50 % over the full study cycle, while the proportion of beneficial microbiota grew by up to 30 % compared to the absolute (initial) control.

Key words: microbiocenosis, microbiological potential, soil microbiota, cellulose, cellulose decomposition.

Дата першого надходження рукопису до видання: 24.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 28.11.2025

Дата публікації: 14.12.2025