

ВПЛИВ РЕДЬКИ ОЛІЙНОЇ ЗА ЇЇ СИДЕРАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ НА ІНДЕКС ПРОДУКТИВНОСТІ ҐРУНТУ

ЦИЦЮРА Я.Г. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент

orcid.org/0000-0002-9167-833X

Вінницький національний аграрний університет

Постановка проблеми. Сидерація розглядається у світовій агротехнологічній практиці як один із ефективних варіантів біоорганічного удобрення, застосування якого у першу чергу формує позитивну динаміку відтворення ґрунту за рахунок нормалізації основних груп його властивостей [1, 2].

Сама сидерація є багатовекторним процесом, який залежить від застосованого виду рослин сидератів, стоків їх використання та безпосередньої технології загорання сидерату у ґрунт [3]. При цьому гідротермічні умови періоду вегетації виступають загальнорегулятивним чинником інтенсивності мінералізації листостеблової маси сидерату у ґрунті, а, отже – визначають якість і рівень іммобілізації рослинами продуктів даного процесу у ґрунтовому профілі [4–6].

Різними дослідженнями [7–12] доведено, що застосування сидератів позитивно відображується на цілому комплексі агрономічних параметрів у системі ґрунт–рослина – довкілля. Так відмічено позитивний вплив сидератів як альтернативного компонента удобрення на підвищення продуктивності цілого ряду сільськогосподарських культур у різних ґрунтово-кліматичних зонах і в інтервалі від 5,8 до 30,9% до контролю [8, 10, 12]. Вказується також на позитивну роль сидерації з позиції оптимізації ґрунтових умов родючості, зокрема основних груп властивостей ґрунту та їх тривале збереження на досягнутому рівні за систематичної сидерації у післясидеральний період [13].

Визначено позитивний вплив сидерації також на формування та динамізм поживного режиму ґрунту з огляду на підвищення вмісту доступних форм макро- та мікроелементів, а також формування передумов для оптимізації їх лабільності у ґрунтовому профілі [14–17]. При цьому характер зміни концентрації елементів живлення у доступній для рослин формі залежала від виду сидерату, характеру тривалості сидерації та ґрунтово-кліматичних умов території, на підставі чого зроблено висновок про необхідність дослідження ефективності сидеральних технологій з огляду на тип ґрунтового покриву та кліматичні багаторічні режими відповідних територій з пошуком для даних двох основних параметрів оптимальних кандидатів рослин-сидератів (чи їх сумішок) для максимальної реалізації потенціалу сидеральних технологій [8, 12, 17–20].

Водночас зазначається, що ефективність зеленого удобрення значною мірою залежить від правильного вибору видів рослин та термінів їх застосування [12, 21–23]. Широке розмаїття рослин для зеленого удобрення [23–25] вимагає їх відбору для конкретних ґрунтово-кліматичних зон і навіть типів ґрунтів, виходячи

з потенціалу родючості. Цей відбір повинен ґрунтуватися на вивченні ефективності застосованої зеленої біомаси з точки зору її впливу на баланс поживних речовин, процеси накопичення гумусу та похідну оптимізацію потенціалу родючості за різними напрямками властивостей ґрунту.

Ці питання є особливо актуальними для хрестоцвітних видів зелених добрив, які домінують у світовій сільськогосподарській практиці як у монокультурному, так і в багатовидовому застосуванні [1, 2, 8, 12, 26–30].

З огляду на вищезазначене, доцільно вивчити довгостроковий цикл ефективності конкретного виду сидерату з точки зору його впливу на комплекс властивостей ґрунтів із середнім потенціалом родючості в умовах нестабільної вологості. Це добре узгоджується з сільськогосподарськими характеристиками більшості сільськогосподарських угідь у всьому світі [17].

Олійна редька (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.) вважається перспективним кандидатом у цьому відношенні, її все частіше використовують у системах біоорганічного удобрення. Вона володіє відповідним комплексом адаптивних механізмів для формування потенціалу зеленого удобрення в зонах з достатньою та нестабільною вологістю [18, 31].

Виходячи з окреслених вище узагальнень актуальним буде оцінка впливу систематичної сидерації за використання редьки олійної в якості сидерату на інтегральні показники оцінки рівня родючості та продуктивності ґрунтів, що й стало головною ціллю проведених багаторічних досліджень у рамках реалізації етапів виконання державної тематики «Розробка екологоорієнтованих технологій вирощування біоенергетичних культур для забезпечення енергонезалежності та ґрунтозбереження задля формування кліматичної нейтральності» (№ держреєстрації 0124U000483).

Матеріали та методика досліджень. Дослідження проводились впродовж 2014–2025 рр. на дослідному полі Вінницького національного аграрного університету (N 49°11'31", E 28°22'16") на сірих лісових ґрунтах. Агрохімічний потенціал поля мав такі середньобагаторічні показники: вміст гумусу 2,68% легкогідролізованого азоту 81,5 мг/кг ґрунту, рухомого фосфору 176,1 мг/кг ґрунту, обмінного калію 110,8 мг/кг ґрунту, pH_{KCl} 5,8.

Дослід був частиною загального вивчення ефективності та доцільності застосування редьки олійної для різнострокової системи сидерації [18]. Схема даного дослідження передбачала співставлення двох послідовних варіантів технологій контрольної без сидерації та дослідної за проміжного літнього використання редьки олійної у якості сидерату на одній і тій же площі

з черговістю раз на два роки для запобігання можливому формуванню фітотоксичності при застосуванні хрестоцвітих видів рослин-сидератів відповідно до рекомендацій [8]. Обидва варіанти було накладено на відповідне чергування культур у сівозміні у якій були відсутні інші види хрестоцвітих рослин (за відсутності застосування мінеральних та органічних добрив на дослідних ділянках впродовж всього періоду досліджу). У підсумку за період 2014–2025 рр. дослід було застосовано під таку ланку чергування культур сорго зернове (2014) – горох (2016) – соя (2018) – соняшник (2020) – нут (2022) – кукурудза на зерно (2024). Загальна ланка чергування культур за період 2014–2024 була такою: сорго зернове (після гороху) – ярий ячмінь – горох – ярий ячмінь – соя – яра пшениця – соняшник – озимий горох – нут – ярий ячмінь – кукурудза на зерно. Відмічені ділянки для відбору зразків ґрунту були територіально сталими без застосування мінеральних добрив впродовж всього періоду досліджу незалежно від культури згідно ротації. Облік показників здійснено у три етапи: на початку досліджу у 2014, проміжний – у 2019 та заключний – у 2025 році весною до посіву відповідної культури.

Дослід було закладено у 4-х разовій повторності. Для обліків показників ґрунту було застосовано облікову площу розміром 25 м². Було використано сорт олійної редьки Журавка. Застосовано сидеральний тип посіву культури: норма висіву 2,5 млн насінин на га з міжряддям 15 см відразу після збирання попередньої культури з проміжною комбінованою обробкою ґрунту на глибину 12–16 см. Сидерацію було проведено при досягненні рослинами редьки олійної фази цвітіння (ВВСН 64–67). Сидерат загортався на глибину 14–16 см у всі роки (важкі дискові борони (БДН-2.4) зі змінним кутом атаки дисків (аналог за технологією Лемкен Рубін (Німеччина)) після попереднього підкошування з подрібненням (було застосовано ротаційну косарку-подрібнювач моделі FX-315 (Канада)). Глибина обробки у позасидеральний період була диференційованою з чергуванням залежно від варіанту зональної технології вирощування відповідної сільськогосподарської культури. Середньобагаторічна глибина обробки за повний період досліджень була 22,55 ± 6,31 см.

Стадія росту рослин визначалася за стандартною шкалою ВВСН [32].

Облік надземної маси рослин проводився на стадії цвітіння методом облікових ділянок (1 м²) (4 в кожному повторенні, шляхом послідовного зважування на лабораторних вагах (WALCOM LB3002 (± 0,01 г)).

Показник сформованої кореневої біомаси визначався на підставі застосування стандартних підходів детально описаний в [33]. Вміст сухої речовини у надземній та кореневій масі рослин визначали шляхом висушування до постійної маси при 105 °С та озолення при 550 °С.

Переведення сформованої загальної сидеральної маси рослин редьки олійної у класичний напівперепрілий гній ВРХ було проведено на підставі тривалої супутньої біохімічної оцінки редьки олійної за різнострокового сидерального використання [31] та рекомендацій [34] за використання перевідного коефіцієнту до загальної сформованої сирової біомаси рослин 0.6.

Аналіз зразків ґрунту проводили на глибину до 30 см з відбором для інтервалів 0–10, 10–20 та 20–30 см.

Щільність ґрунту (Щ) була розрахована гравіметричним методом у циліндрах Копецького як відношення маси сухого ґрунту до його об'єму [35].

Водоутримуючу здатність ґрунту (ВЗ) визначали методом детально описаним в [36].

Електропровідність ґрунту (Е), визначали кондуктометрично для цього готували водну суспензію ґрунту (1:5) шляхом змішування 10 г повітряно-сухого ґрунту з 50 мл дистильованої води у поліпропіленовій ємності, інтенсивно перемішували протягом 2-х хвилин і залишенням на 1 годину для відстоювання ґрунтововодної суспензії. За допомогою кондуктометра-солеміра (EZODO-8200 М (EZODO, Тайвань)) проводили визначення електрофізичних показників у верхній частині ґрунтово-водної суспензії.

Вміст гумусу (Г) було визначено according to ДСТУ 4289:2004 [37]. Вміст легкогідролізованого азоту (N) було визначено відповідно до аналітичного припису для агрохімічних лабораторій від 2014 року оформлених у ДСТУ 7863:2015 [38]. Вміст рухомого фосфору (Р) та обмінного калію (К) було визначено відповідно до ДСТУ 4115–2002 [39]. Кислотність ґрунту рН_{КСІ} (сольове) було визначено відповідно до ДСТУ ISO 10390–2007 (потенціометричний метод, ідентичний міжнародному стандарту ISO 10390:2005) [40].

Індекс продуктивності ґрунту (ІП) розраховували відповідно до методики запропонованої [41] за рівнянням 1 у модифікації [42]:

$$IP = \sum_{i=1}^n (G_i \times BZ_i \times \omega_i \times pH_i \times E_i \times P_i \times K_i)^{1/7} \times RI_i \quad (1)$$

де в і-му шарі ґрунту нормалізовані (0–1): G_i – вміст гумусу, %; BZ_i – водоутримуюча здатність ґрунту, %; ω_i – щільність ґрунту, г/см³; pH_i – рН ґрунтового розчину; E_i – електропровідність ґрунту, дС/м; P_i – вміст рухомого фосфору, кг/га; K_i – вміст обмінного калію, кг/га; RI_i – параметр, що показує на частку коренів у кожному шарі ґрунту в середніх умовах його зволоження на основі аналізу компонент кумулятивної кривої розподілу маси кореневих систем у ґрунті у формі рівняння логістичної кривої «доза–ефект» (відповідно до рівняння 2) [43]; n – кількість шарів ґрунту, i – номер шару ґрунту.

$$Y(h) = \frac{1}{1 + \left(\frac{h}{d_a}\right)^c} + \left[1 - \frac{1}{1 + \left(\frac{d_{max}}{d_a}\right)^c}\right] \times \frac{h}{d_{max}} \quad (2)$$

де $Y(h)$ – значення кумулятивної кривої вмісту коренів певної сільськогосподарської культури в частках одиниці в точці профілю ґрунту h , см; d_a та c – параметри кривої, d_{max} – максимальна довжина коренів певної культури, см.

Показники рівняння 1 було нормовано від 0 до 1. Нормалізація показників моделі від 0 до 1 (за винятком показника RI_i) було проведено в адаптації до властивостей ґрунтового покриття України на підставі детальних параметрів нормування за [42]. Критичний вміст гумусу

взято на основі оптимальної моделі родючості сірих лісових ґрунтів на рівні 2,7% відповідно до шкали ДСТУ 4362:2004 [44].

Для калькуляції показника RI_i з адаптацією до зони досліджень було застосовано методичні підходи [42] та базу довідкових табличних даних [43], а також результатів тривалого вивчення закономірностей формування кореневої системи редьки олійної на сірих лісових ґрунтах (відповідно до [33]) за використання рівняння 3.

$$RI_i = Y(h)_j - Y(h)_i \quad (3)$$

де $Y(h)_j$ – значення функції (рівняння 4) на верхній межі шару ґрунту h ; $Y(h)_i$ – значення функції (рівняння 4) на нижній межі шару ґрунту.

При цьому для отримання середнього показника на дату відповідного обліку розраховувалась показники RI_i для відповідних культур згідно представленої ротації культур у досліді. Для варіанту сидерального застосування редьки олійної показник RI_i мав дві складові з відповідної культури, яка вирощувалась в основний період вегетації та власне редьки олійної у проміжний період сидерації червня–грудня.

Аналіз гідротермічних умов періоду проведення досліджень було проведено за показниками: середньодобова температура ($^{\circ}\text{C}$), кількість опадів (мм), відносна вологість (%), гідротермічний коефіцієнт (ГТК) (рівняння 4) та коефіцієнтом значущості відхилень (C_{sd}) (рівняння 5) (табл. 1).

$$HTC = \frac{\sum R}{0.1 \times \sum t_{>10}} \quad (4)$$

де $\sum R$ – сума опадів за період з температурою вище 10°C , $\sum t_{>10}$ – сума ефективних температур за період досліджень. Рейтинг умов за значенням HTC: $HTC > 1,6$ – надмірна вологість, $HTC 1,3–1,6$ – вологі, $HTC 1,0–1,3$ – помірно сухі, $HTC 0,7–1,0$ – сухі, $HTC 0,4–0,7$ – дуже сухі.

$$C_{sd} = \frac{(X_i - X_{av})}{S} \quad (5)$$

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; $(-1) 1 \div (-2) 2$ – суттєво відрізняються від багаторічних; > 2 (< -2) – близькі до екстремальних.

Для кожного аналізованого фізичного параметра ґрунту визначали його середнє арифметичне, стандартне відхилення (SD) та коефіцієнт варіації (C_v) у статистичному програмному забезпеченні Statistica 10 (StatSoft – Dell Software Company, США). Для порівняння різниць між середніми значеннями за обробками було використано дисперсійний аналіз за допомогою тесту Бонферроні на статистичному рівні $p < 0,05$ та $p < 0,01$. Отримані дані було проаналізовано за використання стандартних методів дисперсійного аналізу.

Результати досліджень. За період проміжного сидерального використання редьки олійної у роки відповідно до схеми досліді її сидеральна продуктивність у середньому була 24.01 т/га (4.02 т/га у сухій речовині) при міжрічному варіюванні 34.56 т/га (табл. 2). Середній коефіцієнт співвідношення між сформованою надземною масою та кореневими рештками був 3.52 у сирій біомасі та 2.34 у сухій речовині.

Враховуючи отриманий рівень сидеральної біопродуктивності, міжрічний рівень варіювання показника на фоні вираженого нестійкого зволоження та багаторічну систему оцінки потенційних хрестоцвітих видів рослин [8] – редьку олійну віднесено до адаптивних видів придатних для проміжної літньої сидерації. З огляду на мінімально ефективний рівень формування загальної біомаси для прямого сидерального використання на рівні не нижче 2 т/га у сухій речовині [4, 12] доведено можливість використання редьки

Таблиця 1

Оцінка гідротермічного режиму періоду досліджень (за показником ГТК) (зона Dfa/Dfb згідно з кліматичною 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 ($^{\circ}\text{C}$) за період листопад попереднього року – березень наступного;
 ** – сума опадів (мм) за період листопад попереднього року – березень наступного.

Таблиця 2

Показники біопродуктивності сидерату ріпаку олійного для літнього проміжного терміну посіву (на стадії цвітіння, ВВСН 64–67)

Показники біопродуктивності зеленого добрива	Рік сидерації							
	2014	2016	2018	2020	2022	2024	Середнє	НІР _{0.5}
Врожайність надземної біомаси, т/га	22,21	21,05	23,12	11,29	24,77	9,77	18,70	1,07
Врожайність надземної біомаси в сухій речовині, т/га	3,37	3,36	3,45	1,82	3,33	1,55	2,81	0,29
Врожайність кореневої біомаси, т/га	6,59	5,77	5,52	3,09	8,03	2,84	5,31	0,58
Врожайність кореневої біомаси в сухій речовині, т/га	1,46	1,33	1,29	0,70	1,76	0,68	1,20	0,17
Еквівалент напівперепрілого гною великої рогатої худоби, т/га	17,28	16,10	17,18	8,63	19,68	7,57	14,41	0,84

олійної у якості біоорганічного удобрювального компонента рослин нехрестоцвітої групи. Встановлено середній за період 2014–2019 удобрювальний потенціал редьки олійної як сидерату в еквіваленті 16.85 т/га (у виразі напівперепрілого гною ВРХ) за аналогічного показника у значенні 11.96 т/га за період 2020–2024. Середній рівень удобрення сидеральною органікою у варіанті сидерації за період 2014–2024 був 13.10 т/га, що відповідає середньому рівневі біоорганічного удобрення.

Визначено також позитивний вплив систематичної сидерації різної тривалості застосування на зміну агрохімічних та агрофізичних властивостей (табл. 3).

Встановлено, що систематичне застосування проміжної сидерації редьки олійної у співставленні до контролю забезпечило поступову акумуляцію вмісту вмісту гумусу (з тотожним характером формування і для вмісту органічного вуглецю). Це сформувало статистично значущу відмінність величини показників залежно від ґрунтового горизонту. Багаторічна динаміка зміни показника без застосування сидератів мала сталий від'ємний, а для варіанту сидерації сталий позитивний градієнт з наростаючим підсумком. З проміжним обліком на 2019 рік у горизонті 0–10 см приріст вмісту гумусу у співставленні до абсолютного контролю був 0,16% (5,97% у відносному виразі), а для горизонтів 10–20 см та 20–30 см – 0,15% (5,86%) та 0,20% (9,30%) відповідно.

На 2025 рік обліку визначено подібний характер динаміки 0,24%, 0,22% та 0,32% відповідно послідовно для досліджуваних горизонтів ґрунту. Для варіанту без сидерації на 2019 рік вміст гумусу знизився послідовно для горизонтів з глибиною на 0,07% (2,61% у відносному виразі), 0,09% (3,52%) та 0,12% (5,58%). Для дати обліку на 2025 рік для цього ж варіанту зниження показника становило послідовно по горизонтах 0,32%, 0,28% та 0,17% відповідно.

У підсумку середньорічний показник приросту вмісту гумусу для ґрунту із постійним застосуванням сидерації послідовно по горизонтах був на рівні 0,020%/рік, 0,018%/рік та 0,033%/рік відповідно. Для варіанту без сидерації аналогічний показник з від'ємною динамікою (зниження) становив -0,027%/рік, -0,023%/рік та -0,014%/рік. Подібна динаміка позитивно узгоджується з варіантами технологічного сидераційного застосування

інших видів хрестоцвітих рослин, таких як різні види гірчиць, ярий та озимий ріпак [8, 12, 26, 27, 45].

Позитивним було і систематичне застосування редьки олійної як сидерату для оптимізації забезпеченості рухомими формами фосфору та калію, що було підтверджено динамікою зміни в шарі ґрунту 0–30 см вмісту рухомих форм фосфору і калію за зміщення максимальної концентрації вмісту фосфору у варіантах сидерації на горизонт 10–20 см, а калію – на горизонт 20–30 см. У варіантах без сидерації доступні форми фосфору і калію навпаки були зосереджені у верхньому горизонті ґрунтового профілю, що з огляду на відсутність додаткового мінерального удобрення пояснюється концентрацією рослинних решток після вирощування відповідних культур, як джерело додаткового балансу після використання частини запасів елементу з ґрунту в ході забезпечення ростових процесів рослин. За цих умов на кінцеву дату періоду досліджень (2025 рік) варіант сталого сидерального використання редьки олійної усереднено у горизонті ґрунту 0–30 см мав на 25.75% вищий вміст рухомого фосфору та на 23.16% вищий вміст обмінного калію. Такі результати цілком узгоджуються з оцінками впливу сидерації на зміни в концентрації та доступності основних макро- та мікроелементів представлених в ряді досліджень [2, 6, 7, 8, 11, 12, 20]. При цьому з врахуванням у вказаних працях величини зростання вмісту азоту, фосфору та калію усереднено в інтервалі від 11.8–45.7% – редьку олійну слід віднести до культур з високим агрохімічним удобрювальним потенціалом.

Визначено також вплив застосованих варіантів сидерації на рівень кислотності ґрунту. Такий вплив у сучасній практиці сидерації є питанням дискусії. Так, відмічено, що розклад сидеральної маси формує передумови для формування водневих катіонних груп, що на фоні можливої низької буферності ґрунту зумовлює поступове підкислення ґрунту [6]. При цьому також наголошується, що за рахунок постійного застосування сидерату, особливо у варіанті без додаткового застосування мінеральних добрив, які по своїй суті є переважно фізіологічно кислими солями – відмічено процеси зростання буферної ємності ґрунту та, як наслідок, зниження його кислотності [7, 10, 11]. Крім того редьку олійну та інших хрестоцвітих характеризують як сидерати з диференційними ацидальними властивостями

Таблиця 3

Масив параметрів властивостей ґрунту залежно від варіантів дослідів (за співставний період 2014–2025)*

Варіант дослідів	Шар ґрунту, см	Г %	Щ, г/см ³	ВЗ, %	pH _{ксі}	E, dS/м	P, мг/кг	K, мг/кг
Облік на 2014 рік								
Абсолютний контроль*	0–10	2,68 ^a	1,32 ^a	23,87 ^a	5,82 ^a	0,285 ^a	177,5 ^a	118,8 ^a
	10–20	2,56 ^b	1,36 ^b	26,62 ^b	5,84 ^a	0,281 ^a	179,1 ^a	110,8 ^b
	20–30	2,15 ^c	1,45 ^c	28,47 ^c	5,73 ^b	0,319 ^b	171,6 ^b	105,7 ^c
Облік на 2019 рік								
Контроль I **	0–10	2,61 ^a	1,37 ^a	21,54 ^a	5,71 ^a	0,234 ^a	163,7 ^a	110,4 ^a
	10–20	2,47 ^b	1,41 ^b	24,51 ^b	5,73 ^a	0,262 ^b	167,2 ^a	104,1 ^b
	20–30	2,03 ^c	1,49 ^c	27,11 ^c	5,85 ^b	0,289 ^b	161,4 ^b	95,3 ^c
Сидерація I***	0–10	2,84 ^a	1,18 ^a	24,29 ^a	5,87 ^a	0,251 ^a	180,2 ^a	122,3 ^a
	10–20	2,71 ^b	1,22 ^b	28,15 ^b	5,94 ^b	0,272 ^a	187,5 ^b	117,4 ^b
	20–30	2,35 ^c	1,29 ^c	30,53 ^c	6,00 ^b	0,301 ^b	177,3 ^a	120,7 ^a
Облік на 2025 рік								
Контроль II ****	0–10	2,36 ^a	1,42 ^a	20,37 ^a	5,63 ^a	0,218 ^a	151,8 ^a	105,7 ^a
	10–20	2,28 ^a	1,45 ^a	23,86 ^b	5,68 ^a	0,237 ^a	152,7 ^a	102,4 ^a
	20–30	1,98 ^b	1,49 ^b	28,79 ^c	5,87 ^b	0,259 ^b	146,9 ^b	100,6 ^b
Сидерація II*****	0–10	2,92 ^a	1,14 ^a	27,63 ^a	5,95 ^a	0,263 ^a	184,4 ^a	127,7 ^a
	10–20	2,78 ^b	1,17 ^a	33,59 ^b	6,07 ^b	0,285 ^b	193,7 ^b	121,4 ^b
	20–30	2,54 ^c	1,22 ^b	32,93 ^b	6,12 ^b	0,307 ^c	189,4 ^c	130,9 ^a

Розшифровка варіантів: * дані по ділянці на початок закладки дослідів; ** чергування культур на ділянці: сорго зернове (2014) – ярий ячмінь (2015) – горох (2016) – ярий ячмінь (2017) – соя (2018); *** застосування проміжної сидерації (сидерат – редька олійна) під культури у схемі чергування їх на ділянці: сорго зернове (2014) – горох (2016) – соя (2018); **** чергування культур на ділянці: яра пшениця (2019) – соняшник (2020) – озимий горох (2021) – нут (2022) – ярий ячмінь (2023) – кукурудза на зерно (2024); ***** застосування проміжної сидерації (сидерат – редька олійна) під культури у схемі чергування їх на ділянці: соняшник (2020) – нут (2022) – кукурудза на зерно (2024).

Зміст показників: Г – вміст гумусу, %; Р – вміст рухомого фосфору, мг/кг; К – вміст обмінного калію, мг/кг; pH_{ксі} – кислотність ґрунту (сольова); Е – електропровідність ґрунту, dS/м; Щ – щільність ґрунту, г/см³; ВЗ – водоутримуюча здатність ґрунту, %. Різні малі літери в таблиці вказують на значущі відмінності між варіантами дослідів в одному і тому ж шарі ґрунту ($p < 0,05$).

від можливого підкислення за зміни pH на 0.1–0.2 одиниці при застосуванні на ґрунтах з підвищеною кислотністю на низькою буферністю до вираженого нейтралізуючого ефекту [4], в тому числі за рахунок високого вмісту карбогідратів та кальцію в листостебловій сидеральній та кореневій біомасі, що підтверджено тривалими біохімічними дослідженнями [18]. У результаті підсумку (табл. 4) за систематичного використання редьки олійної у довготривалому періоді кислотність шару ґрунту 0–30 см у середньому знизилась у порівнянні з абсолютним контролем на 4.30%, а на варіанті без сидерації, навпаки, зріс на 2.81%. Невисокі значення динаміки оптимізації кислотності за рахунок сидерального застосування редьки олійної у співставленні до злакових та бобових видів сидерації де зниження (підвищення абсолютного значення pH) може сягати рівня 15–27% [7] пояснено за рахунок вмісту у листостебловій масі редьки глюकोзинолатів, що в реакції розщеплення мають підкислюючий характер дії [18].

Узагальненням суміжних процесів мінералізації та гуміфікації у ґрунтового профілі за участі сидеральної маси редьки олійної пояснено і результати впливу варіантів дослідів на електропровідність ґрунту (Е). З огляду на те, що стала відсутність додаткового мінерального та

органічного удобрення формує поступово передумови до збіднення ґрунтового розчину на рухомі катіони та аніони, що закономірно знижує електропровідність [42]. Показник також знижується за зменшення фактичної та потенційної оводненості ґрунтового профілю. На це вказують все ті ж результати кореляції між показниками водоутримуючої здатності ґрунту (ВЗ) та його електропровідності (Е) на рівні $r=0.753$ (при $p<0.001$).

За рахунок таких кореляційних співвідношень та враховуючи той факт, що збільшення вмісту гумусу у ґрунтового профілі веде до зниження показника Е ($r=-0.611$ при $p<0.001$) загальна електропровідність ґрунту у шарі 0–30 см у варіанті сидерації (варіант обліку 2025 року) була на 3.35% нижчою ніж аналогічний показник на абсолютному контролі (2014 рік). Що ж стосується результатів співставлення показника Е у рубіжних варіантах без та із застосуванням сидерації з обліком на 2025 рік то варіант із застосуванням сидерації мав електропровідність на 29.71% вищу. Подібні висновки зроблено і у ряді інших досліджень [16, 23, 24].

Застосовані варіанти закономірно вплинули і на базову константу водних властивостей водоутримуючої здатності (ВЗ). Було визначено що систематичне застосування сидерації за період 2014–2024 років сприяло

Таблиця 4

Масив даних для калькуляції параметра RI на підставі фактичних середніх значень показників у межах варіантів дослідів, 2010–2025 рр.

Рік ротації	Культури	Параметри рівняння (2)			RI ₀₋₁₀	RI ₁₀₋₂₀	RI ₂₀₋₃₀	Акумуляований RI ₀₋₃₀
		d _a	c	d _{max}				
2010	Соя	11,6	-0,626	172,1	0,486	0,147	0,039	0,672
2011	Соя	11,6	-0,626	172,1	0,486	0,147	0,039	0,672
2012	Озима пшениця	17,2	-1,286	150,4	0,336	0,272	0,075	0,683
2013	Люпин однорічний	16,2	-1,115	104,8	0,379	0,263	0,054	0,696
2014	Сорго	14,5	-1,165	128,1	0,399	0,205	0,113	0,789***
	Редька олійна	9,9	-0,473	42,8	0,579	0,198	0,084	
2015	Ярий ячмінь	11,8	-1,06	146,1	0,461	0,225	0,056	0,742
2016	Горох	18,9	-1,394	111,3	0,299	0,307	0,071	0,756***
	Редька олійна	9,9	-0,473	46,9	0,570	0,190	0,075	
2017	Ярий ячмінь	11,8	-1,06	146,1	0,461	0,225	0,056	0,742
2018	Соя	11,6	-0,626	172,1	0,486	0,147	0,039	0,775***
	Редька олійна	9,9	-0,473	40,9	0,584	0,203	0,090	
2019	Яра пшениця	17,2	-1,286	150,4	0,336	0,272	0,075	0,683
2020	Соняшник	10	-0,671	133,3	0,511	0,161	0,038	0,787***
	Редька олійна	9,9	-0,473	42,5	0,580	0,199	0,085	
2021	Горох	18,9	-1,394	111,3	0,299	0,307	0,071	0,677
2022	Нут	11,9	-0,98	92,9	0,470	0,235	0,045	0,814***
	Редька олійна	9,9	-0,473	40,9	0,584	0,203	0,090	
2023	Ярий ячмінь	11,8	-1,06	146,1	0,461	0,225	0,056	0,742
2024	Кукурудза	14,9	-1,151	118,3	0,394	0,260	0,058	0,753***
	Редька олійна	9,9	-0,473	55,8	0,556	0,176	0,061	

Період 2010–2013 років взято для калькуляції показника RI для варіанту абсолютного контролю (2014); показники d_a, c, d_{max} – з даних [43].

зростанню цього показника порівняно з контрольним варіантом без сидерації у шарі ґрунту 0–10 см на 35,64% та відповідно на 40,78% і 14,38% у шарах ґрунту 10–20 см та 20–30 см.

У результативному підсумку застосування систематичної сидерації за використання редьки олійної вплинуло на показник індексу продуктивності ґрунту (ІП) вихідний масив для розрахунку якого представлено у таблиці 4. Відповідно до визначеного параметру частки коренів у аналізованому шарі ґрунту (RI) редька олійна за короткий період вегетації у якості сидерату літньої вегетації володіє досить високим кумулятивним ефектом, який становить щонайменше 47–58% від частки подібної акумуляції для злакових та зернобобових видів рослин, які було застосовано у системі ротації сівозміни за період 2010–2024 років.

Це підтвердило багаторічну критерійну оцінку кореневої системи редьки олійної з позиції її сидерального використання [18] та питання агротехнологічної цінності кореневої біомаси даної культури у загальних системах сидерації для умов зон нестійкого зволоження на ґрунтах із низьким та середнім рівнем їх родючості.

Як наслідок відмічених особливостей усереднений показник додаткової акумуляції кореневих решток у шарі ґрунту 0–30 см за весь період оцінки був на рівні 11,13% та коливався у співставленні до подібного варіанту однокомпонентного без сидерального вирощування певних сільськогосподарських культур у межах від

9,87%–20,45%. Це забезпечило, на фоні визначеного позитивного впливу на комплекс агрофізичних та агрохімічних властивостей ґрунту диференціацію результуючого показника індексу продуктивності (ІП) у форматі акумулюючого його значення (табл. 4). Зокрема, його величина на кінцеву дату обліку на варіанті застосування сидерації була на 24,86% вищою у співставленні із даними варіанту абсолютного контролю (2014 рік) та на 34,87% вищою у співставленні до варіанту без сидерації на туж рубіжну дату обліку. При цьому показник ІП у варіантах без сидерації за співставлення із абсолютним контролем знизився на 7,43%. Слід відмітити, що отримані значення показника ІП відповідають нижньому порогу рівня середнього потенціалу ґрунтової родючості у градації 0,5–0,8 [42] за виключенням варіанту без сидерації де даний показник на дату останнього обліку було переведено у категорію низького рівня (0,3–0,5).

Висновок. Таким чином, за інтенсивного сільськогосподарського використання без удобрення у тривалому часовому вимірі в умовах нестійкого зволоження сірі лісові ґрунти мають стійку тенденцію до зниження власного потенціалу родючості за показником індексу продуктивності (ІП) і дане зниження у темпах динаміки за період 2014–2025 року (вихідний рівень дані обліку показника у 2014 році) становило -0.0033 на рік. Навпаки, для варіанту сталого сидерального використання редьки олійної індекс продуктивності ґрунту мав виражений прирістний характер у значенні +0.0112 на

рік. Цим доведено ґрунтополіпшуючу та ґрунтореабілітаційну комплексну властивість застосування редьки олійної у варіанті її літнього (проміжного) сидерального застосування на сірих лісових ґрунтах в умовах нестійкого зволоження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

- Jabnoun-Khiareddine H., Abdallah R.A.B., Fakher A., Gueddes-Chahed M., Hajlaoui A. Effect of Fodder Radish (*Raphanus sativus* L.) Green Manure on Potato Wilt, Growth and Yield Parameters. *Advances in Crop Science and Technology*. 2016. Vol. 4. 211.
- Abdulraheem M.I., Tobe O.K. Green manure for agricultural sustainability and improvement of soil fertility. *Farming & Management*. 2022. Vol. 7. P. 1–8.
- Iheshiulo E. M.-A., Larney F. J., Hernandez-Ramirez G., St Luce M., Chau H. W., Liu K. Quantitative evaluation of soil health based on a minimum dataset under various short-term crop rotations on the Canadian prairies. *Science of The Total Environment*. 2024. Vol. 935. 173335.
- Talgre L. Biomass production of different green manure crops and their effect on the succeeding crops yield. PhD Thesis. Institute of Agricultural and Environmental Sciences Estonian University of Life Sciences. Tartu. 2013, 164 pp.
- Israt I.J., Parimal B.K. Residual Effect of Green Manure on Soil Properties in Green Manure-Transplant Aman-Mustard Cropping Pattern. *Indian Journal of Agricultural Research*. 2023. Vol. 57. № 1. P. 67–72.
- Xu J., Si L., Zhang X., Cao K., Wang J. Various green manure-fertilizer combinations affect the soil microbial community and function in immature red soil. *Frontiers in Microbiology*. 2023. Vol. 14. 1255056.
- Duan Y., Wang T., Lei X., Cao Y., Liu L., Zou Z. Leguminous green manure intercropping changes the soil microbial community and increases soil nutrients and key quality components of tea leaves. *Horticulture Research*. 2024. Vol. 11. uhae018
- Bhogal A., White C., Morris N. Project Report №. 620 Maxi Cover Crop: Maximising the benefits from cover crops through species selection and crop management. AHDB Cereals & Oilseeds is a part of the Agriculture and Horticulture Development Board (AHDB). 2010, 111 pp.
- Swarcewicz M., Adaszynska M., Wrzesinska E. Chemical Composition of Macerated Plant Parts of White Mustard *Sinapis alba*. *Chemistry of Natural Compounds*. 2013. Vol. 49, 557–558.
- Rani, T. S., Umareddy, R., Ramulu, C., Kumar, T. S. Green Manures and Green leaf manures for soil fertility improvement: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 2021. Vol. 10. № 5. P. 190–196.
- Zhang J., He W., Wei Z., Chen Y., Gao W. Integrating green manure and fertilizer reduction strategies to enhance soil carbon sequestration and crop yield: evidence from a two-season pot experiment. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2025. Vol. 8, 1514409.
- Clark A. Managing cover crops profitably. DIANE Publishing (3rd ed.). 2008, 248 pp.
- Yadav D., Kumawat A., Kumar P., Kumar S., Singh D., Kumar D. (2021). Chemical Fertilization to Green Manuring: Moving towards Sustained Production. *Farm Information Bureau*. 2021. Vol. 9. № 1. P. 15–19.
- Li W.G., Yang X.X., Huang C.G., Xue N.W., Xia Q., Liu X.L., Zhang X.Q., Yang S., Yang Z.P., Gao Z.Q. Effects of rapeseed green manure on soil fertility and bacterial community in dryland wheat field. *Agricultural Sciences in China*. 2019. Vol. 52. P. 2664–2677.
- Naz A., Rebi A., Naz R., Akbar M. U., Aslam A., Kalsom A., Niaz A., Ahmad M. I., Nawaz S., Kausar R., Ali B., Saleem M. H., Zhou J. Impact of Green Manuring on Health of Low Fertility Calcareous Soils. *Land*. 2023. Vol. 12(3). 546.
- Wang C., Ma Y., He W., Kuzyakov Y., Bol R., Chen H., Fan M. Soil quality and ecosystem multifunctionality after 13-year of organic and nitrogen fertilization. *Science of The Total Environment*. 2024. Vol. 931. 172789.
- Kopittke P.M., Menzies N.W., Wang P., McKenna B.A., Lombi E. 2019. Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International*. 2019. Vol. 132. 105078.
- Tsytisura Y. Potential of oilseed radish (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.) as a multi-service cover crop (MSCC). *Agronomy Research*. 2024. Vol. 22. № 2. P. 1026–1070.
- Toungos M.D., Bulus Z.W. Cover crops dual roles: Green manure and maintenance of soil fertility, a review. *International Journal of Innovative Agriculture and Biology Research*. 2019. Vol. 7. № 1. P. 47–59.
- Razanov S., Ovcharuk V., Krasnyak O., Bakhmat M., Bakhmat O. Agroecological assessment of green manures grown from winter grain harvest lost in the conditions of the right-bank Forest-steppe of Ukraine. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science*. 2021. Vol. 11. № 4. P. 895–902.
- Dai W., Feng G., Huang Y., Adeli A., Jenkins J. N. Influence of cover crops on soil aggregate stability, size distribution and related factors in a no-till field. *Soil & Tillage Research*. 2024. Vol. 244. 106197.
- Kumar R., Choudhary J.S., Naik S.K., Mondal S., Mishra J.S., Poonia S.P., Kumar S., Hans H., Kumar S., Das A., Kumar V., Bhatt B.P., Chaudhari S.K., Malik R.K., Craufurd P., McDonald A., Sherpa S.R. Influence of conservation agriculture-based production systems on bacterial diversity and soil quality in rice-wheat-green gram cropping system in eastern Indo-Gangetic Plains of India. *Frontiers in Microbiology*. 2023. Vol. 14. 1181317.
- Das K., Biswakarma N., Zhiipao R., Kumar A., Ghasal P.C., Pooniya V. Significance and Management of Green Manures. In: Giri, B., Varma, A. (eds) *Soil Health*. Soil Biology, Springer, Cham. 2020. Vol. 59. P. 197–217.
- Deus T.R.V. de, Giongo V., Salviano A. M., Santana M. da S., Silva V.C., da Santos T.C. dos Selection of green manures to provide ecosystem services in a semi-arid environment. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, 2022. Vol. 57. № 3. P. 409–421.
- Green Manure Global Market Report 2024. By Type (Leguminous, non Leguminous), By Source (Dhaincha, Sesbania, Sunhemp, Other Sources), By Application (Grains and Cereals, Pulses and Oilseeds, Fruits and Vegetables, Other Applications) – Market Size, Trends, And Global Forecast 2024–2033. 2023. URL: <https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/green-manure-global-market-report> (date of application 5 September 2025)

26. Lee C.-R., Kim S.H., Oh Y., Kim Y.J., Lee S.-M. Effect of Green Manure on Water-Stable Soil Aggregates and Carbon Storage in Paddy Soil. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*. 2023. Vol. 56. № 2. P. 191–198.
27. Lövgren E. Complete removal of biomass from oilseed radish as a cover crop decreased nitrous oxide emissions. Master's degree project. Swedish University of Agricultural Sciences. 2022, 43 pp.
28. Liu Y. Nutrient accumulation and release in soil under cover crop systems. PhD Thesis. University of Massachusetts, Amherst. 1997, 109 pp.
29. Liu X.H., Zhou X., Deng L.C., Fan L.Y., Qu L., Li M. Decomposition characteristics of rapeseed green manure and effect of nutrient release on soil fertility. *Hunan Agricultural Science*. 2020. Vol. 416. P. 39–44.
30. Li W.G., Yang X.X., Huang C.G., Xue N.W., Xia Q., Liu X.L., Zhang X.Q., Yang S., Yang Z.P., Gao Z.Q. Effects of rapeseed green manure on soil fertility and bacterial community in dryland wheat field. *Agricultural Sciences in China*. 2019. Vol. 52. P. 2664–2677.
31. Tsytsiura Y. Evaluation of Ecological Adaptability of Oilseed Radish (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.) Biopotential Realization in the System of Criteria for Multi-Service Cover Crop. *Journal of Ecological Engineering*. 2024. Vol. 25. № 7. P. 265–285.
32. Test Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability of Fodder Radish (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.). 2017. TG/178/3, UPOV, Geneva. 19 pp.
33. 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.
34. 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 pp.
35. Blake G.R., Hartge K.H. (1986) Bulk Density. In: Klute A. Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods. SSSA Book Series. Soil Science Society of America, Inc. 1986, 363–382.
36. Bittelli M. Measuring Soil Water Content: A Review. *HortTechnology*. 2011. Vol. 21. № 3. P. 293–300.
37. ДСТУ 4289:2004. Якість ґрунту. Методи визначення органічної речовини (Національний стандарт України). К.: Державна служба стандартизації та якості України. 2005, 8 с.
38. ДСТУ 7863:2015. Якість ґрунту. Визначення легкогідролізованого азоту методом Корнфілда. (Національний стандарт України). Київ: Державна служба стандартизації та сертифікації України. 2016, 9 с.
39. ДСТУ 4115-2002. Ґрунти. Визначення рухомих сполук фосфору та калію модифікованим методом Чирикова (Національний стандарт України). Київ: Державна служба стандартизації та сертифікації України. 2003, 6 с.
40. ДСТУ ISO 10390:2007. Якість ґрунту. Визначення рН (ISO 10390:2005, IDT) (Національний стандарт України). Київ: Державна служба стандартизації. 2009, 15 с.
41. Pierce F. J., Larson W. E., Dowdy R. H., Graham W. A. P. Productivity of soils: Assessing long-term changes due to erosion. *Journal of Soil and Water Conservation*. 1983. Vol. 38. № 1. P. 39–44.
42. Чорний С., Вільна (Поляшенко) Н. Оновлення «Індексу продуктивності Пірса» та його застосування для оцінки якості чорноземних ґрунтів у Правобережній степовій зоні України. *Агрохімія та ґрунтознавство*. 2019. Вип. 88. С. 31–39.
43. Fan J., McConkey B., Wang H., Janzen H. Root distribution by depth for temperate agricultural crops. *Field Crop Research*. 2016. Vol. 189. P. 68–74.
44. ДСТУ 4362:2004. Якість ґрунтів. Показники родючості ґрунтів. (Національний стандарт України). К.: Держспоживстандарт України. Київ: Державний споживчий стандарт України. 2005, 33 с.
45. Stroud J. L., Kemp S. J., Sturrock C. J. The effect of organic matter amendments on soil surface stability in conventionally cultivated arable fields. *Soil Use and Management*. 2024. Vol. 40. e12985.

REFERENCES:

1. Jabnoun-Khiareddine, H., Abdallah, R.A.B., Fakher, A., Gueddes-Chahed, M., Hajlaoui, A. (2016). Effect of Fodder Radish (*Raphanus sativus* L.) Green Manure on Potato Wilt, Growth and Yield Parameters. *Advances in Crop Science and Technology*, 4, 211.
2. Abdurraheem, M.I., Tobe, O.K. (2022). Green manure for agricultural sustainability and improvement of soil fertility. *Farming & Management*, 7, 1–8.
3. Iheshiulo, E. M.-A., Larney, F. J., Hernandez-Ramirez, G., St Luce, M., Chau, H. W., Liu, K. (2024). Quantitative evaluation of soil health based on a minimum dataset under various short-term crop rotations on the Canadian prairies. *Science of The Total Environment*, 935, 173335.
4. Talgre, L (2013). Biomass production of different green manure crops and their effect on the succeeding crops yield. PhD Thesis. Institute of Agricultural and Environmental Sciences Estonian University of Life Sciences. Tartu.
5. Israt, I.J., Parimal, B.K. (2023). Residual Effect of Green Manure on Soil Properties in Green Manure-Transplant Aman-Mustard Cropping Pattern. *Indian Journal of Agricultural Research*, 57(1), 67–72.
6. Xu, J., Si, L., Zhang, X., Cao, K., Wang, J. (2023). Various green manure-fertilizer combinations affect the soil microbial community and function in immature red soil. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1255056.
7. Duan, Y., Wang, T., Lei, X., Cao, Y., Liu, L., Zou, Z. (2024). Leguminous green manure intercropping changes the soil microbial community and increases soil nutrients and key quality components of tea leaves. *Horticulture Research*, 11, uhae018.
8. Bhogal, A., White, C., Morris, N. (2010). Project Report №. 620 Maxi Cover Crop: Maximising the benefits from cover crops through species selection and crop management. AHDB Cereals & Oilseeds is a part of the Agriculture and Horticulture Development Board (AHDB).
9. Swarczewicz, M., Adaszynska, M., Wrzesinska, E. (2013). Chemical Composition of Macerated Plant Parts of White Mustard *Sinapis alba*. *Chemistry of Natural Compounds*, 49, 557–558.
10. Rani, T. S., Umareddy, R., Ramulu, C., Kumar, T. S. (2021). Green Manures and Green leaf manures for soil fertility improvement: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 10(5), 190–196.

11. Zhang, J., He, W., Wei, Z., Chen, Y., Gao, W. (2025). Integrating green manure and fertilizer reduction strategies to enhance soil carbon sequestration and crop yield: evidence from a two-season pot experiment. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1514409.
12. Clark, A. (2008). Managing cover crops profitably. DIANE Publishing (3rd ed.).
13. Yadav, D., Kumawat, A., Kumar, P., Kumar, S., Singh, D., Kumar, D. (2021). Chemical Fertilization to Green Manuring: Moving towards Sustained Production. *Farm Information Bureau*, 9(1), 15–19.
14. Li, W.G., Yang, X.X., Huang, C.G., Xue, N.W., Xia, Q., Liu, X.L., Zhang, X.Q., Yang, S., Yang, Z.P., Gao, Z.Q. (2019). Effects of rapeseed green manure on soil fertility and bacterial community in dryland wheat field. *Agricultural Sciences in China*, 52, 2664–2677.
15. Naz, A., Rebi, A., Naz, R., Akbar, M. U., Aslam, A., Kalsom, A., Niaz, A., Ahmad, M. I., Nawaz, S., Kausar, R., Ali, B., Saleem, M. H., Zhou, J. (2023). Impact of Green Manuring on Health of Low Fertility Calcareous Soils. *Land*, 12(3), 546.
16. Wang, C., Ma, Y., He, W., Kuzyakov, Y., Bol, R., Chen, H., Fan, M. (2024). Soil quality and ecosystem multifunctionality after 13-year of organic and nitrogen fertilization. *Science of The Total Environment*, 931, 172789.
17. Kopittke, P.M., Menzies, N.W., Wang, P., McKenna, B.A., Lombi, E. (2019). Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International*, 132, 105078.
18. 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.
19. Tounegos, M.D., Bulus, Z.W. (2019). Cover crops dual roles: Green manure and maintenance of soil fertility, a review. *International Journal of Innovative Agriculture and Biology Research*, 7(1), 47–59.
20. Razanov, S., Ovcharuk, V., Krasnyak, O., Bakhmat, M., Bakhmat, O. (2021). Agroecological assessment of green manures grown from winter grain harvest lost in the conditions of the right-bank Forest-steppe of Ukraine. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science*, 11(4), 895–902.
21. Dai, W., Feng, G., Huang, Y., Adeli, A., Jenkins, J. N. (2024). Influence of cover crops on soil aggregate stability, size distribution and related factors in a no-till field. *Soil & Tillage Research*, 244, 106197.
22. Kumar, R., Choudhary, J.S., Naik, S.K., Mondal, S., Mishra, J.S., Poonia, S.P., Kumar, S., Hans, H., Kumar, S., Das, A., Kumar, V., Bhatt, B.P., Chaudhari, S.K., Malik, R.K., Craufurd, P., McDonald, A., Sherpa, S.R. (2023). Influence of conservation agriculture-based production systems on bacterial diversity and soil quality in rice-wheat-green gram cropping system in eastern Indo-Gangetic Plains of India. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1181317.
23. Das, K., Biswakarma, N., Zhiipao, R., Kumar, A., Ghasal, P.C., Pooniya, V. (2020). Significance and Management of Green Manures. In: Giri, B., Varma, A. (eds) *Soil Health. Soil Biology*, vol 59. Springer, Cham, 197–217.
24. Deus, T.R.V. de, Giongo, V., Salviano, A. M., Santana, M. da S., Silva, V.C., da Santos, T.C. dos (2022). Selection of green manures to provide ecosystem services in a semi-arid environment. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, 57(3), 409–421.
25. Green Manure Global Market Report 2024. (2023). By Type (Leguminous, Non Leguminous), By Source (Dhaincha, Sesbania, Sunhemp, Other Sources), By Application (Grains And Cereals, Pulses And Oilseeds, Fruits And Vegetables, Other Applications) – Market Size, Trends, And Global Forecast 2024–2033. URL: <https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/green-manure-global-market-report> (date of application 5 September 2025)
26. Lee, C.-R., Kim, S.H., Oh, Y., Kim, Y.J., Lee, S.-M. (2023). Effect of Green Manure on Water-Stable Soil Aggregates and Carbon Storage in Paddy Soil. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 56(2), 191–198.
27. Lövgren, E. (2022). Complete removal of biomass from oilseed radish as a cover crop decreased nitrous oxide emissions. Master's degree project. Swedish University of Agricultural Sciences.
28. Liu, Y. (1997). Nutrient accumulation and release in soil under cover crop systems. PhD Thesis. University of Massachusetts, Amherst.
29. Liu, X.H., Zhou, X., Deng, L.C., Fan, L.Y., Qu, L., Li, M. (2020). Decomposition characteristics of rapeseed green manure and effect of nutrient release on soil fertility. *Hunan Agricultural Science*, 416, 39–44.
30. Li, W.G., Yang, X.X., Huang, C.G., Xue, N.W., Xia, Q., Liu, X.L., Zhang, X.Q., Yang, S., Yang, Z.P., Gao, Z.Q. (2019). Effects of rapeseed green manure on soil fertility and bacterial community in dryland wheat field. *Agricultural Sciences in China*, 52, 2664–2677.
31. Tsytsiura, Y. (2024). Evaluation of Ecological Adaptability of Oilseed Radish (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.) Biopotential Realization in the System of Criteria for Multi-Service Cover Crop. *Journal of Ecological Engineering*, 25(7), 265–285.
32. Test Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability of Fodder Radish (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.). 2017. TG/178/3, UPOV, Geneva.
33. 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.
34. 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.
35. Blake, G.R., Hartge, K.H. (1986). Bulk Density. In: Klute A. *Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods*. SSSA Book Series. Soil Science Society of America, Inc. p. 363–382.
36. Bittelli, M. (2011). Measuring Soil Water Content: A Review. *HortTechnology* 21(3), 293–300.
37. DSTU 4289:2004. (2005). Yakist gruntu. Metody vyznachennia orhanichnoi rehovyny (Natsionalnyi standart Ukrainy). [Soil quality. Methods for determining organic matter (National Standard of Ukraine)] K.: Derzhavna sluzhba standartyzatsii ta yakosti Ukrainy, 8 s. [in Ukrainian]
38. DSTU 7863:2015. (2016). Yakist gruntu. Vyznachennia lehkohidrolizovanoho azotu metodom Kornfilda. (Natsionalnyi standart Ukrainy) [Soil quality.

- Determination of readily hydrolyzable nitrogen by the Kornfeld method. (National Standard of Ukraine)]. Kyiv: Derzhavna sluzhba standartyzatsii ta sertyfikatsii Ukrainy, 9 s. [in Ukrainian].
39. DSTU 4115-2002. (2003). Grunty. Vyznachennia rukhomykh spoluk fosforu ta kaliu modyfikovanym metodom Chyrykova (Natsionalnyi standart Ukrainy) [Soils. Determination of mobile phosphorus and potassium compounds using the modified Chirikov method (Ukrainian National Standard)]. Kyiv: Derzhavna sluzhba standartyzatsii ta sertyfikatsii Ukrainy, 6 s. [in Ukrainian].
 40. DSTU ISO 10390:2007. (2009). Yakist gruntiv. Vyznachennia rN (ISO 10390:2005, IDT) (Natsionalnyi standart Ukrainy) [Soil quality. Determination of pH (ISO 10390:2005, IDT) (National Standard of Ukraine)]. Kyiv: Derzhavna sluzhba standartyzatsii, 15 s. [in Ukrainian].
 41. Pierce, F. J., Larson, W. E., Dowdy, R. H., Graham, W. A. P. (1983). Productivity of soils: Assessing long-term changes due to erosion. *Journal of Soil and Water Conservation*, 38(1), 39–44.
 42. Chornyi, S., Vilna (Poliashenko), N. (2019). Onovlennia «Indeksu produktyvnosti Pirsy» ta yoho zastosuvannia dlia otsinky yakosti chornozemnykh gruntiv u Pravoberezhnii stepovii zoni Ukrainy [Updating the Pierce Productivity Index and its application for assessing the quality of chernozem soils in the Right Bank steppe zone of Ukraine]. *Ahrokhimiia ta gruntoznavstvo – Agrochemistry and Soil Science*, 88, 31–39. [in Ukrainian].
 43. Fan, J., McConkey, B., Wang, H., Janzen, H. (2016). Root distribution by depth for temperate agricultural crops. *Field Crop Research*, 189, 68–74.
 44. DSTU 4362:2004 (2005). Yakist gruntiv. Pokaznyky rodiuchosti gruntiv. (Natsionalnyi standart Ukrainy). K.: Derzhspozhyvstandart Ukrainy [Soil quality. Soil fertility indicators. (National Standard of Ukraine)]. Kyiv: Derzhavnyi spozhyvchyi standart Ukrainy, 33 s. [in Ukrainian].
 45. Stroud, J. L., Kemp, S. J., Sturrock, C. J. (2024). The effect of organic matter amendments on soil surface stability in conventionally cultivated arable fields. *Soil Use and Management*, 40, e12985.

Цицюра Я.Г. Вплив редьки олійної за її сидерального використання на індекс продуктивності ґрунту

Метою досліджень було встановити ефективність та доцільність сидерального застосування редьки олійної у варіантах проміжного літнього строкового використання на формування показника індексу продуктивності 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. Схема даного дослідження передбачала співставлення двох послідовних варіантів технологій контрольної без сидерації та дослідної за проміжного літнього використання редьки олійної у якості сидерату на одній і тій же площі з черговістю раз на два роки для запобігання можливому формуванню фітотоксичності при застосуванні хрестоцвітних видів рослин-сидератів.

Результати. Усереднено для шару ґрунту 0–30 см за період 2014–2025 років визначено для спряженого співставлення варіанту без застосування сидерації та варіанту зі сталим сидеральним застосуванням редьки олійної визначено такий середньорічний характер динаміки таких показників у значенні: вміст гумусу +0.0024%, щільність ґрунту -0.017 г/см³, водоутримуюча здатність ґрунту +0.422%, pH +0.021, вміст рухомого фосфору +1.092 мг/кг, вміст обмінного калію +1.242 мг/кг, електропровідність ґрунту -0.001 дС/м.

Висновки. Варіант сталого сидерального використання редьки олійної забезпечив щорічне зростання індексу продуктивності ґрунту у значенні +0.0112 на рік. За рахунок цього редьку олійну доцільно рекомендувати для зони нестійкого зволоження сірих лісових ґрунтів як ґрунтополіпшуючу та ґрунтореабілітаційну сидеральну культуру у варіанті її літнього (проміжного) сидерального технологічного використання.

Ключові слова: родючість ґрунту, продуктивність ґрунту, біоорганічне удобрення, ґрунтовідновлення, сидеральна система удобрення.

Tsytsyura Ya.G. Influence of oil radish under green manure application on the soil productivity index

The aim of the study was to determine the effectiveness and feasibility of using oil radish as green manure in variants of intermediate summer utilization for the formation of the integrated indicator – the soil productivity index.

Methods. The research was conducted during 2014–2025 at the experimental field of Vinnytsia National Agrarian University on gray forest soils with medium fertility potential. The experiment included four replications. Variant arrangement was systematic in two tiers. The experimental design provided for a comparative assessment of two consecutive technological variants: the control without green manure and the experimental variant with intermediate summer use of oil radish as green manure on the same plots, with alternation every two years to prevent potential phytotoxicity associated with cruciferous green manure crops.

Results. For the 0–30 cm soil layer, averaged over the period 2014–2025, the comparative assessment between the no-green-manure variant and the variant with consistent green manure application of oil radish revealed the following average annual dynamics: humus content +0.0024%, soil bulk density -0.017 g cm⁻³, soil water-holding capacity +0.422%, pH +0.021, available phosphorus content +1.092 mg kg⁻¹, exchangeable potassium content +1.242 mg kg⁻¹, and soil electrical conductivity -0.001 dS m⁻¹.

Conclusions. The consistent green manure application of oil radish ensured an annual increase in the soil productivity index of +0.0112 per year. Therefore, oil radish is recommended for the unstable moisture zone of gray forest soils as a soil-improving and soil-rehabilitating green manure crop in the variant of intermediate summer technological application.

Key words: soil fertility, soil productivity, bio-organic fertilization, soil restoration, green manure fertilization system.

Дата першого надходження рукопису до видання: 25.09.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 27.10.2025

Дата публікації: 28.11.2025