



УДК 635.15:631.5

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.10.2024.17>

ҐРУНТОРЕАБІЛІТАЦІЙНИЙ ПОТЕНЦІАЛ РЕДЬКИ ОЛІЙНОЇ ЗА ЇЇ СИДЕРАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ З ПОЗИЦІЇ ВІДНОВЛЕННЯ БАЗОВИХ АГРОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

Я. Г. Цицюра¹

Відмічено, що для України актуальним є застосування ґрунтореабілітаційних технологій з огляду на інтенсивність та сталість розвитку деградаційних процесів ґрунтового покриву, особливо у частині агрофізичної деградації, викликаній знеструктуренням ґрунту та його перецицільненням, втратою корисної шпаруватості. Такі тенденції у підсумку є загрозою для збереження агроландшафтів та формування засад продовольчої безпеки.

За п'ятирічний період (2019–2024 рр.) проведено оцінку ефективності та доцільності застосування редьки олійної як сидеральної культури у варіанті літнього (проміжного) сидерального використання із сталим чотирьохрічним циклом з метою вивчення характеру впливу такого агротехнологічного рішення на формування базових агрофізичних показників ґрунту на тест-об'єкті сірих лісових ґрунтах із середнім рівнем початкової агрофізичної деградації.

За результатами досліджень визначено сприятливий гідротермічний режим територій Правобережного Лісостепу України зони сірих лісових ґрунтів для забезпечення процесів мінералізації сидеральної маси та формування позитивного результуючого впливу на базові агрофізичні показники ґрунту. Встановлено доцільність літнього варіанту сидерації за використання листостеблової маси редьки олійної з періодом не менше 4 років для підвищення частки агрономічно цінної фракції ґрунтових агрегатів щонайменше на 6,9% при зниженні частки брилистої фракції щонайменше на 3,2%, зниження щільності ґрунту на 6,9%, підвищення шпаруватості аерації на 7,3% за одночасного підвищення загальної шпаруватості на 10,0%.

Встановлено також результуючий позитивний вплив застосування редьки олійної як сидерату на загальну структурованість ґрунтових агрегатів на фоні істотного зниження частки агрегатів із брилистим абрисом та формування оптимальної дисперсної поверхні ґрунту при зростанні коефіцієнту структурності ґрунту в інтервалі 0,36–0,54.

Ключові слова: агрофізична деградація ґрунту, щільність, шпаруватість, структурність ґрунту, сидерація.

¹ кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри землеробства, ґрунтознавства та агрохімії
(Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця)
e-mail: yaroslavtsytsyura@ukr.net
ORCID: 0000-0002-9167-833X

SOIL REHABILITATION POTENTIAL OF OIL RADISH FOR ITS GREEN MANURE USE FROM THE POINT OF VIEW OF RESTORATION OF BASIC AGROPHYSICAL PROPERTIES

Ya. G. Tsytsiura

It is noted that the use of soil rehabilitation technologies is relevant for Ukraine, given the intensity and sustainability of the development of degradation processes of soil cover, especially in terms of agrophysical degradation caused by soil disintegration and overcompaction, loss of useful porosity. Such trends ultimately pose a threat to the preservation of agricultural landscapes and the formation of the foundations of food security.

Over a five-year period (2019–2024), the effectiveness and feasibility of using oilseed radish as a green manure crop in the variant of summer (intermediate) green manure use with a stable four-year cycle was assessed in order to study the nature of the impact of such an agrotechnological solution on the formation of basic agrophysical soil parameters on the test site of gray forest soils with an average level of initial agrophysical degradation.

According to the results of the research, a favorable hydrothermal regime of the territories of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine of the gray forest soil zone was determined to ensure the processes of mineralization of green manure and the formation of a positive resulting effect on the basic agrophysical parameters of the soil. The expediency of the summer green manure variant using oilseed radish leaf and stem mass with a period of at least 4 years to increase the share of agronomically valuable fraction of soil aggregates by at least 6.9% while reducing the share of cloddy fraction by at least 3.2%, reducing soil density by 6.9%, increasing aeration porosity by 7.3%, while increasing the total porosity by 10.0% was established.

The resulting positive effect of the use of oil radish as a green manure on the overall structure of soil aggregates against the background of a significant decrease in the proportion of aggregates with a lumpy outline and the formation of an optimal dispersed soil surface with an increase in the soil structure coefficient in the range of 0.36–0.54 was also established.

Key words: *agrophysical degradation of soil, density, porosity, soil structure, green manure.*

Вступ

Результати наукових узагальнень (Стрілець, 2022) засвідчують, що найбільш доцільні напрями використання земель сільськогосподарського призначення та відтворення родючості ґрунтів, виходячи із реальної ситуації землевикористання в Україні, мають обов'язково базуватись на альтернативних (біологізованих) системах сівозмін, удобрення із максимальним залученням побічної продукції для забезпечення бездефіцитних балансів органіки та основних елементів живлення, підтримання природних процесів реставрації ґрунтових процесів для зниження темпів деградації, які набирають загрозливого характеру.

У доповнення до цих тверджень наголошується (Зайцев та ін., 2022) на необхідності розробки для України, особливо в регіонах із середнім та низьким потенціалом ґрунтової родючості, агротехнологій, які передбачали б максимально ефективно та обґрунтоване використання побічної продукції сільськогосподарських культур, насичення сівозмін проміжними культурами різного типу для різновидової сидерації, використання органічних сільськогосподарських відходів

та продуктів первинної переробки для альтернативних класичних варіантів систем удобрення. Це дозволить довести до нормативного показника індексу екологізації удобрення та дозволить стати на шлях стабілізації деградації ґрунтів.

Сучасний зарубіжний досвід у різних ґрунтово-кліматичних зонах із різним ґрунтовим покривом та специфікою використання сільськогосподарських угідь (Qaswar et al., 2019; Fan et al., 2020; Lei et al., 2022), підтверджує актуальність та необхідність застосування технологій сидерації, фіторе mediaції та розширення спектру варіантів біоорганічного удобрення для відновлення родючості ґрунтів, забезпечення бездефіцитного балансу гумусу, мінімізацію ризиків від агрохімічної та агрофізичної деградації ґрунтового покриву.

Серед спектру видів деградації ґрунтового покриву агрофізична деградація для України набула загрозливого характеру і має найвищу вираженість за такими показниками як переуцільнення та втрата агрономічно цінної структури (Медведев та ін., 2020). Вчені підраховали, що переуцільнення ґрунтів в Україні щорічно приводить

до втрат у середньому 159,6 млн, а в окремі роки до 0,5 млрд доларів і ця проблема має тенденцію до активного зростання внаслідок військової агресії росії (Проект Плану ..., 2022).

В останніх дослідженнях відмічається, що для ґрунтового покриву агроландшафтів інтенсивного сільськогосподарського використання фіксуються сталі ознаки втрати структурованості особливо у частині частки часток віднесених до агрономічно цінних структурних агрегатів гранулометричного складу ґрунту (0,25–10 мм), що веде до послідовного ущільнення ґрунтового профілю (Медведев і Пліско, 2017).

Підсилюється процес знеструктурення ґрунту за рахунок спряжених тенденцій до зниження вмісту гумусу та підвищення кислотності, що у підсумку формує брилисту структуру орного горизонту (агрегати розміром >10 мм) за одночасного зростання частки фракції пилу (агрегати < 0,25 мм). Такі структурні зміни зумовили зниження частки корисної фракції агрегатів в інтервалі 1,2–1,7 рази з огляду на тип ґрунту та відповідно ґрунтово-кліматичну зону вирощування (Булигін та ін., 2019). Такі зміни в свою чергу формують всі передумови для підвищення щільності ґрунту за нормативним оцінюванням в одиницях г/см³ при зростанні показника щонайменше на 15–30% за одночасного зниження агрегатної міцності часток ґрунту в 1,2–1,5 рази, що веде до зростання чинника дисперсності ґрунтових агрегатів мінімум на два порядки (Балюк та ін., 2017). З огляду на визначені тенденції деградації для ґрунтового покриву України питання орієнтації агротехнологічних рішень за чинником ґрунтозбереження та ґрунтореабілітації набуває першочергового значення (Балюк і Медведев, 2012). У плані таких рішень, з позиції збереження та відновлення агрофізичних показників ґрунтового профілю та оптимізації ґрунтової структури, рекомендуються біоконсервуючі та біоорганічні технології на основі широкого спектру використання сидеральних культур як адаптованого джерела альтернативних органічних добрив із високою технологічною ефективністю віддачі (Шувар, 2015; Трускавецький і Цапко, 2016; Іванишин та ін., 2016, 2020; Цицюра та ін., 2022).

Проте, не дивлячись на вивченість закономірностей сидерації та механізмів її дії на комплекс ґрунтових властивостей, багато питань цієї технології з огляду впливу на

агрофізичні режими та параметри ґрунтового профілю є дискусійними, що актуалізує подальший напрямок даних досліджень особливо з огляду на конкретний біологічний вид обраної сидеральної культури на фоні відповідного рівня гідротермічного режиму території.

Серед спектру застосованих сидеральних культур, олійна редька (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.) виділяється особливим спектром цінних адаптивних властивостей (Цицюра та ін., 2022), а саме: невибагливість, високі рівні біопродуктивності як надземної, так і кореневої маси, толерантність до зміни строків використання, високий алалопатичний потенціал по відношенню до основних видів бур'янів, високий фітормедіаційний та біофумігаційний потенціал. З огляду на це, вивчення ефективності та доцільності її використання у системі ґрунтозберігаючих та ґрунтовідновлюючих технологій є важливим науково-практичним завданням, що було покладено в основу наших багаторічних досліджень сидерального застосування листостеблової маси редьки олійної на сірих лісових ґрунтах із середнім рівнем їх агрофізичної деградації.

Матеріал і методи

Дослідження проводились впродовж 2019–2024 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 середньобогаторічні 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, рН_{ксі} 5,8. Для досліджень було обрано сорт Журавка. Припосівне конструювання агроценозу культури було проведено за вимогами формування сидеральних посівів редьки олійної за норми висіву 2,5 млн схожих насінин/га звичайним рядковим способом на неудобреному фоні з міжряддям 15 см.

Посів сидерату проводився відразу після збирання попередника на фоні проміжного комбінованого обробітку ґрунту (плоскоріз + ротаційне розпушування із вирівнюванням) на глибину 12–14 см у липні при даті фенологічного досягнення оптимальної фази багатоконпонентного використання біомаси редьки олійної на другу–третю декаду жовтня. Обліки було проведено на четвертий рік сидерального застосування редьки олійної на одній і тій же обліковій дослідній площі під різні попередники ярової групи

культур у варіанті літньої проміжної сидерації із співставленням значень до сидерації та на четвертий рік сидерації. За спряжений контроль було обрано той же варіант ланки сівозміни 4-х річного циклу ротації без застосування сидерації. На всіх варіантах досліду застосовувалась рекомендована технологія для відповідних видів польозаймаючих культур. Повторність досліду чотирьохразова з просторовим дистанціюванням від варіантів без сидерації на відстані 5 м. Площа ділянок 25 м².

Швидкість розкладу сидеральної маси та кумулятивний показник швидкості розкладу розраховували відповідно до методики (Kazakou et al., 2009).

Фотографічна фіксація поверхні ґрунту у різних варіантах досліду здійснювалась за використання цифрового фотоапарата Canon EOS 750D Kit 18–135 mm IS STM та додаткового об'єктиву Canon EF 100 mm f/2.8 Macro і UV світлофільтра. Процес фотографування проводився за принципом ортогональності із масштабною лінійкою та штучним затіненням.

Для графічної обробки зображень та їх дослідної інтерпретації було застосовано програми FijiImageJ2 та BaseGrain v. 2.2.0.4. Останній програмний продукт аналізує систему морфометричної сепарації часток, які формують аналізовану поверхню знімка за ортогональної фіксації фокусу. Даний аналіз передбачав отримання середньозваженого співвідношення малої та великої осей поверхні ґрунтових частин та умовної довжини абсиса їх контуру, як показано на рис. 1.

Агрофізичні параметри такі як: щільність ґрунту, шпаруватість – проводили відповідно до методик рекомендованих стандартами України у блокові агрофізичних властивостей ґрунту (Гаськевич та ін., 2021).

Фракційний склад ґрунту визначали стандартним методом сухого просіювання (ДСТУ, 2005).

Ступінь структурного розпушення ґрунту визначали за коефіцієнтом структурності (K_s) за рівнянням 1 (Панченко, 1999):

$$K_s = \frac{N_v}{N_g} \quad (1)$$

де: N_v – сума ґрунтових макроагрегатів розміром від 0,25 до 10 мм, %; N_g – сума ґрунтових агрегатів < 0,25 мм і грудок > 10 мм, %.

Ступінь інтегрального зв'язку з основними показниками базових факторів системи

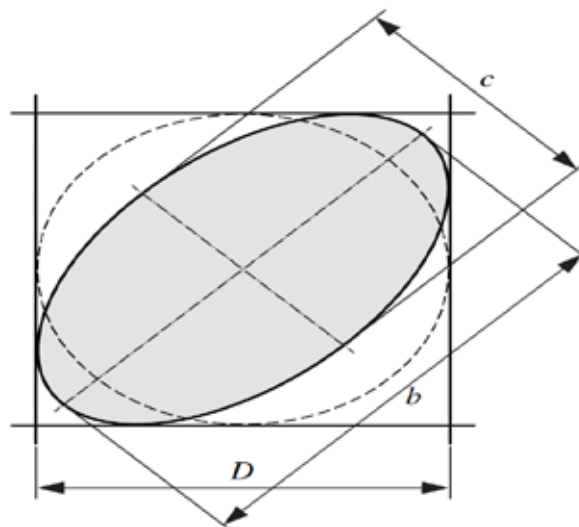


Рис. 1. Параметри детермінації морфометрії ґрунтових частинок у системі програми BaseGrain (за Stähly et al., 2017)

дослідження оцінювали застосуванням загальної схеми парного кореляційного аналізу із формуванням відповідної кореляційної матриці.

Статистичну обробку отриманих даних проводили за загальноприйнятими методами варіаційної статистики та застосування принципів статистичної різниці за результатами порівняння при допомозі тесту Тьюкі з поправкою Бонферроні (Wong et al., 2018) у середовищі статистичної програми Statistica 10 (StatSoft – Dell Software Company, США).

Результати

Встановлено, що умови гідротермічного режиму періоду досліджень відповідали середньопозитивному температурному режиму із значним варіюванням за показником суми опадів, що у підсумку забезпечило таку ж високу варіативність індексу зволоження на рівні 27,9%. Визначена варіативність за рахунок безпосереднього впливу на процеси ґрунтового розкладу листостеблової маси редьки олійної та з огляду на результати парного кореляційного аналізу, де саме індекс зволоження мав найвищу тісноту зв'язку із показником кумулятивного розкладу сидеральної листостеблової маси (0,831 при $p < 0,05$) – зумовила різні темпи кумулятивного розкладу маси у ґрунті (табл. 1).

При цьому, варіювання показника кумулятивного розкладу було у двічі меншим, що вказує на наявність додаткових систем-

Таблиця 1

Гідротермічні параметри періоду сидерального використання редьки олійної, 2019–2024 рр.

Показники оцінки для періоду VII–XII/I–IV	За період					
	Середньодобова температура повітря, °С	Сума температур, °С	Сума опадів, мм	Середня відносна вологість повітря, %	Індекс зволоження, мм/°С	Загальний показник кумулятивності розкладу сидеральної маси, %
	1	2	3	4	5	6
2019/2020	8,80	2675,5	420,7	72,5	0,157	88,4 ± 0,89 ^{b**}
2020/2021	7,68	2335,1	656,4	77,8	0,281	93,7 ± 1,05 ^c
2021/2022	7,66	2329,3	481,2	78,5	0,207	83,5 ± 0,77 ^a
2022/2023	8,41	2546,8	855,5	78,1	0,336	95,8 ± 0,89 ^d
2023/2024	10,05	3056,5	747,9	76,8	0,245	90,2 ± 1,05 ^b
Результати парної кореляції між показниками						
Пари ознак	1	2	3	4	5	6
1		1,000 [*]	0,284	-0,378	-0,119	0,070
2			0,273	-0,382	-0,131	0,058
3				0,544 [*]	0,917 [*]	0,810 [*]
4					0,697 [*]	0,187
5						0,831 [*]

* – достовірність щонайменше на 5% рівні значущості; ** – рівні значущості (за тестом Тьюкі з поправкою Бонферроні); однакові літери визначають належність показника до однієї статистичної групи.

них факторів не введених на даному етапі формування даних з позиції ґрунтового потенціалу (температура ґрунту, рівень його мікробіологічної активності, інтенсивність анаеробної ферментації тощо).

З огляду на рівень кумулятивного розкладу листостеблова маса редьки олійної, застосована для сидерації на фазу цвітіння, належить до групи із швидкими темпами мінералізації, що з одного боку є позитивним з позиції строків застосування сидерації у межах відповідних ланок сівозмін, а з іншого боку не сприяє позитивній динамічній накопиченню ряду складових компонентів отриманих унаслідок мінералізації сидеральної маси. При цьому підтверджено ефективну можливість розкладу сидеральної маси редьки олійної у зоні досліджень за літнього проміжного її використання, враховуючи рівень середньодобової температури вище біологічного мінімуму (+5°C) за весь період оцінки та середнього ступеню розкладення на рівні 90,72%.

Це позитивно узгоджується з результатами підсумкового моніторингу впливу циклу застосованої сидерації на структур-

но-агрегатний склад сірого лісового ґрунту у оцінці для товщини 0–30 см (табл. 2).

За результатами стартового моніторингу досліджуваній ґрунту за визначеного агрегатного стану на 2019 рік при коефіцієнті структурності 1,76 було віднесено до категорії середнього рівня агрофізичної деградації з позиції значної частки брилистої фракції (> 10 мм) близько 30%, а наявність у структурі більше 10% мулистої та пилової фракцій (0,5–0,25%) формує схильність до формування ґрунтової кірки та позитивної динаміки у зростанні об'ємної маси у період від фізичної стиглості ґрунту до його входження у зиму. За цих умов, у обліковій динаміці з співставленням до контролю сидеральне використання редьки олійної сприяло оптимізації структурного стану ґрунту зі зростання частки агрономічно цінних агрегатів на 6,9% в цілому за відповідного зниження частки брилистої та мулистої фракцій відповідно на 3,2% та 0,4% відповідно. При цьому інертність змін мулистої фракції була вищою у динаміці, ніж брилистої фракції, що зумовлено генезисними особливостями формування сірих лісових ґрунтів.

Таблиця 2

Співставні зміни фракційного структурно-агрегатного складу сірого лісового ґрунту для горизонту профілю 0–30 см на ділянках систематичного чотирьохрічного циклу сидерації, % (співставлення 2019/2024 р.)

Фракції ґрунту за методом сухого просіювання, мм	Перед сівбою сидерату редьки олійної (перший рік досліджень) (2019 рік)	Фаза фізичної стиглості ґрунту, 2024 рік	
		контроль	4-х річний цикл літньої проміжної сидерації
>10	30,3 ± 1,4	28,8 ± 1,7	25,6 ± 2,1**
10–7	11,1 ± 1,6	10,5 ± 1,6	9,1 ± 1,7*
7–5	6,8 ± 1,9	7,9 ± 1,7	9,8 ± 1,9**
5–3	16,6 ± 2,3	17,4 ± 1,5	18,5 ± 1,5**
3–2	6,1 ± 1,2	7,2 ± 1,9	8,4 ± 1,5*
2–1	14,5 ± 1,5	15,4 ± 2,1	15,8 ± 1,8*
1–0,5	3,8 ± 0,9	3,4 ± 1,4	4,1 ± 1,5*
0,5–0,25	4,9 ± 1,3	4,5 ± 1,8	4,1 ± 1,2*
<0,25	5,9 ± 1,7	5,2 ± 2,1	4,8 ± 1,7*
Коефіцієнт структурності (K _s)	1,76	1,94	2,30

Критерії значущості для системи варіантів сидерація–контроль: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$.

На контрольному варіанті також відмічено певні позитивні зрушення у сторону поліпшення агрегатного стану за рахунок впливу системи обробки та вирощування відповідних видів сільськогосподарських рослин зі зростанням коефіцієнту структурності на 0,18. При цьому, зростання даного показника за 4-х річного циклу перманентного сидерального утримання ґрунту склало 0,36 до динамічного контролю та 0,54 до вихідних умов при закладенні досліду, що склало відповідно 18,6% та 30,7%.

Вказані результати підтверджено наочно за використання програмних пакетів програм FijiImageJ2 та BaseGrain v. 2.2.0.4 за використання відповідних плагінних систем аналізу структурних елементів поверхні (рис. 2). Так, відповідно до сформованої поверхні 3D візуалізації, контрольний варіант без сидерації мав істотно вищу амплітуду розмаху розмірності поверхні та нерівномірність рисунка по зовнішній площині поверхні та за глибиною, ніж це характерно для варіанті знімка за 4-х річного циклу сидерації із використанням редьки олійної.

Аналогічні результати було отримано і за обробки знімка у середовищі програми BaseGrain v. 2.2.0.4 (рис. 3). Відповідно до статистичної інтерпретації результатів такої обробки на контрольному варіанті середній індекс співвідношення великої та малої осі ґрунтових частинок склав 3,3, а для варіанту із 4-х річним циклом сидерації – 2,1

при показник довжини кола абрису ґрунтової частини 31,48 см та 18,84 см відповідно.

Такий характер підтверджує з одного боку загальне зменшення брилистості ґрунту, а з іншої – на ріст дрібних фракцій у загальній структурі ґрунтового шару, відміченого на поверхні знімка у системі ортогонального фокуса.

Позитивні зрушення у фракційному складі ґрунту закономірно відобразились на спряжених із гранулометричним складом показниках видів шпаруватості та щільності структури ґрунту позитивно відобразились і на таких важливих агрофізичних показниках як шпаруватість та щільність (табл. 3).

Відповідно до облікової оцінки вказаних показників у співставленні контролю та чотирьохрічного періоду сидерації відмічено позитивноформуючий вплив на окреслені параметри ґрунту. Встановлено у підсумку зростання загальної шпаруватості ґрунту на 10,0%, капілярної шпаруватості – на 10,2%, некапілярної – на 9,8% при зростанні шпаруватості аерації на 7,3%. За такої результуючої дії оптимізації структури ґрунту досягнуто зниження його щільності в моніторинговому шарі 0–30 см на 6,9%, що має загальний позитивний вплив на забезпечення відповідних режимів ґрунтових умов родючості.

Обговорення

Важливим в оцінці сидераційного ефекту є рівень мінералізації сидеральної маси

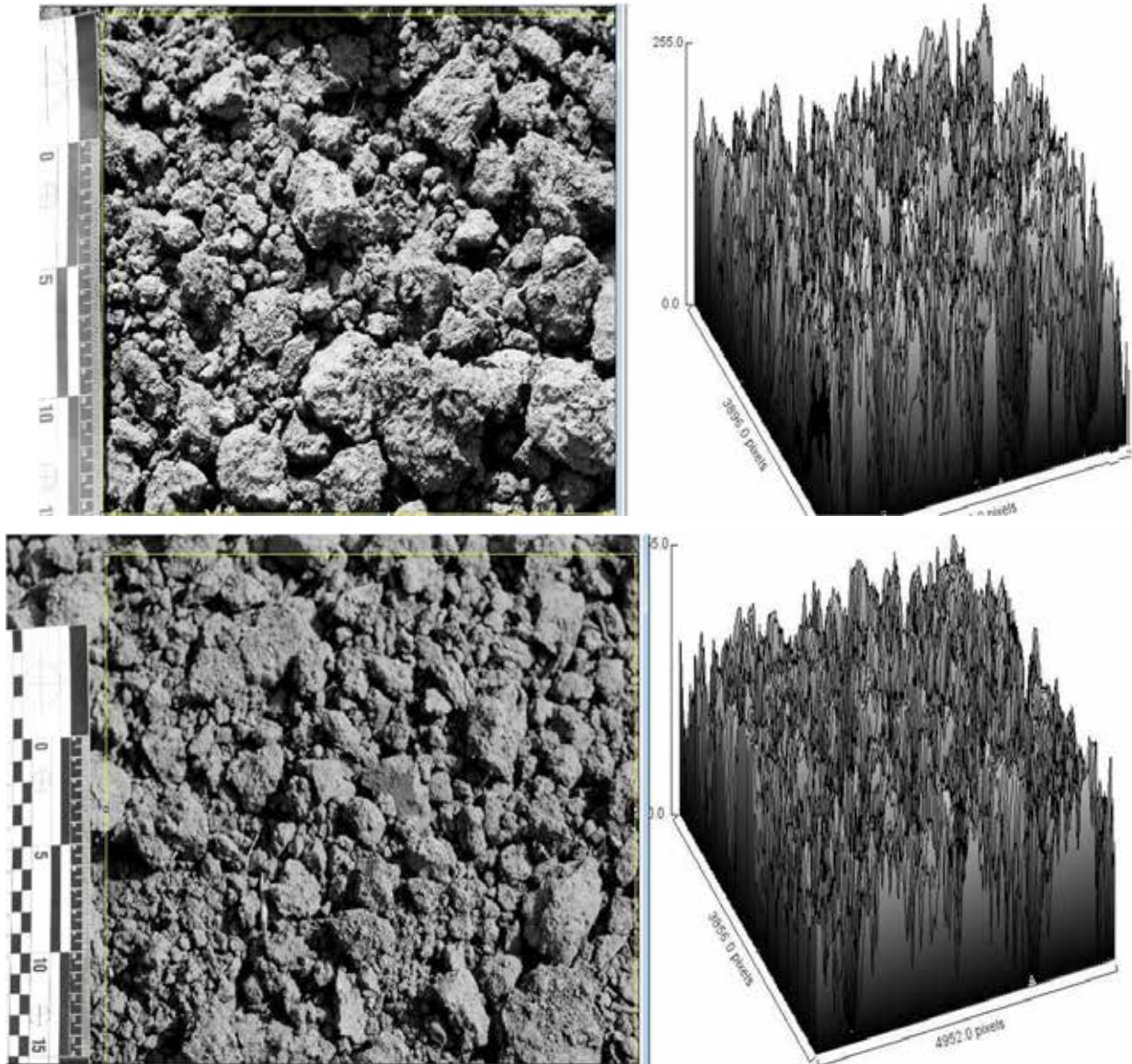


Рис. 2. Знімки поверхні ґрунту оброблені програмою FijiImageJ2 (верхня позиція контроль, нижня позиція після останнього туру сидерації)

у ґрунті та процес іммобілізації її ґрунтово-вбирним комплексом. Відмічається (Шувар, 2015; Цицюра та ін., 2022), що як процес формування надземної листостеблової маси редьки олійної, так і процесу її розкладу у ґрунті сприяє підвищений температурний режим та достатня зволоженість періоду від початку культивування сидерату до початку відповідних весняних технологічних операцій на відповідному полі після сидерації. Тобто оптимум показника швидкості розкладу сидеральної маси буде зростати за вищого значення показника індексу зволоження. З огляду на параметри гідротермічного режиму від дати посіву сидерату до дати початку ґрунтоо-

бробних робіт на ділянках сидерації представлені у табл. 1 – оптимум темпів іммобілізації сидеральної маси відповідав періодам 2022/2023 рр. та 2020/2021 рр. На підставі ряду досліджень (Іванишин, 2020; Fan et al., 2020) такі умови з високою ймовірністю формують позитивний вплив на загальний рівень оптимізації ґрунтових умов родючості як з позиції балансу органічної речовини, так і з позиції похідної агрегації структурних елементів ґрунтового профілю. Вказані темпи розкладу дозволяють досягнути інтенсифікуючого показника процесів різнофракційного накопичення гумусових сполук та їх похідних, що з огляду на ряд оцінок (Ramirez-Garcia et al., 2015) сприяє

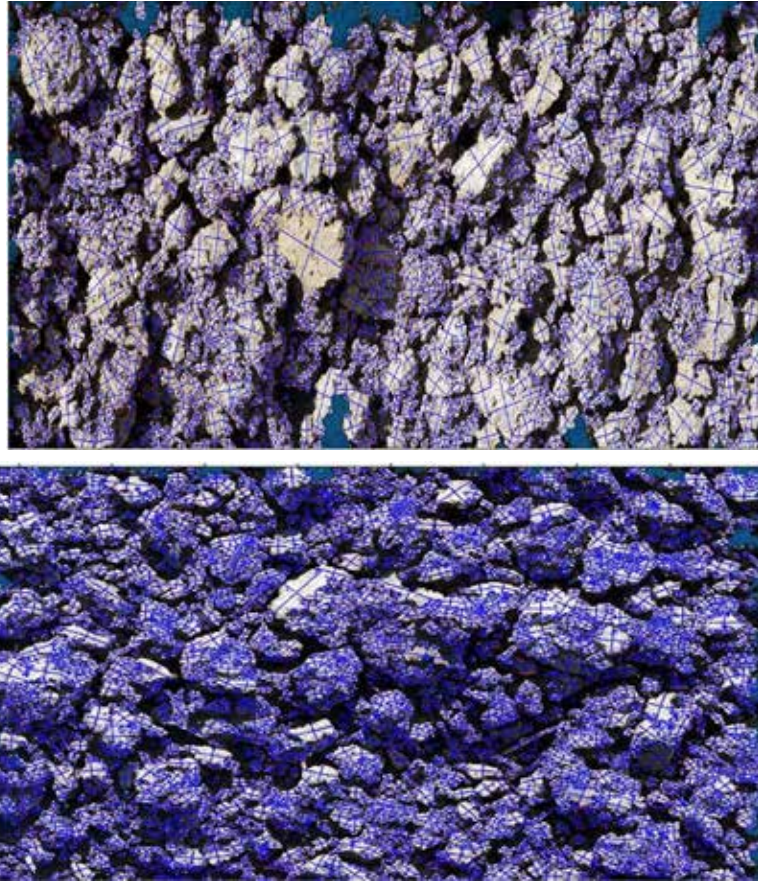


Рис. 3. Знімки поверхні ґрунту оброблені програмою BaseGrain v. 2.2.0.4 (верхня позиція контроль, нижня позиція – після останнього туру сидерації)

Таблиця 3

Оцінка шпаруватості та щільності ґрунту за різних варіантів утримання з обліком на фазу фізичної стиглості ґрунту до початку перших механізованих операцій (середнє за чотири цикли сидерації, 2019–2024 рр.)

Шпаруватість	Глибина, см	Контроль	Сидерація	*НІР ₀₅
Загальна, %	0–10	42,38	44,89	1,47
	10–20	41,62	46,63	1,26
	20–30	40,07	45,00	0,96
	0–30	41,36	45,51	1,24
Капілярна, %	0–10	22,39	23,06	0,36
	10–20	23,28	26,44	0,73
	20–30	22,87	26,04	0,51
	0–30	22,85	25,18	0,71
Некапілярна, %	0–10	19,99	21,84	0,95
	10–20	18,34	20,19	0,79
	20–30	17,20	18,96	0,70
	0–30	18,51	20,33	0,84
Аерації, %	0–10	21,12	23,08	0,58
	10–20	18,13	19,06	0,49
	20–30	14,32	15,35	0,43
	0–30	17,86	19,16	0,47
Щільність, г/см ³	0–10	1,36	1,28	0,04
	10–20	1,46	1,32	0,05
	20–30	1,52	1,45	0,06
	0–30	1,45	1,35	0,05

* – за вимогами калькуляції НІР лише після тригонометричного арктангенсного перетворення.

процесам агрегації ґрунтових часток та зміні у структурі співвідношення фракційного їх вмісту.

Встановлене у дослідженнях підвищення вмісту агрономічно цінної фракції структурних агрегатів, позитивно корелює із дослідженнями при застосуванні різних видів сидератів у різних ґрунтово-кліматичних зонах при значенні від 5,5 до 40,8% у загальній структурі співставлення контроль-сидерація (Fanish, 2017; Lei et al., 2022; Patra et al., 2023). З цієї позиції редьку олійну можна віднести до культур із високим потенціалом для сидеральної оптимізації агрофізичних параметрів ґрунтового профілю.

Доведена позитивна роль сидеральних культур і в поліпшення різних категорій пористості (Sharma et al., 2018; Ugrenović et al., 2019; Patra et al., 2023), зокрема зростання капілярної шпаруватості на 3,7–8,9% за багаторічного варіанту сидерального утримання ґрунту при оптимізації щільності за рахунок її зменшення в інтервалі від 0,08–0,25 г/см³. З огляду на ці твердження, доведено доцільність вико-

ристання редьки олійної як сидерату на ґрунтах переуцільнених із низькими значеннями шпаруватості аерації та загальної шпаруватості де позитивний ріст за 4-х річний цикл застосування склав інтервал від 7,3 до 10,2%.

Висновки

У загальному підсумку, визначений позитивний вплив на формування ґрунтової структури (зростання фракції агрономічно цінних агрегатів на 6,9%) та одночасної оптимізації базових рівнів шпаруватості (збільшення загальної шпаруватості на 10%, шпаруватості аерації на 7,3%) та зниження щільності на 6,9% за сидерального перманентного використання редьки олійної на сірих лісових ґрунтах. На підставі таких результатів за доцільне слід рекомендувати проміжний (літній) варіант сидерації для ґрунтово-кліматичних зон нестійкого зволоження з використанням редьки олійної у сівозмінах різної ротації у системі біоорганічних та ґрунтореабілітаційних технологій, особливо на ґрунтах із вираженими ознаками агрофізичної деградації.

Список використаної літератури

- Балюк С.А., Медведєв В.В. Стратегія збалансованого використання, відтворення і управління ґрунтовими ресурсами України. К. : Аграрна наука. 2012. 239 с.
- Балюк С.А., Медведєв В.В., Воротинцева Л.І., Шимель В.В. Сучасні проблеми деградації ґрунтів і заходи щодо досягнення нейтрального її рівня. *Вісник аграрної науки*. 2017. № 8. С. 5–11.
- Булигін С.Ю., Вітвіцький С.В., Буланій О.В., Тонха О.Л. Моніторинг якості ґрунтів. К.: Видавництво НУБіП України, 2019. 421 с.
- Гаськевич В.Г., Папіш І.Я., Телегуз О.Г. Фізика ґрунтів. Лабораторний практикум. Навчальний посібник. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2021. 170 с.
- ДСТУ ISO 11277:2005. Якість ґрунту. Визначення гранулометричного складу мінерального матеріалу ґрунту. Метод просіювання та седиментації (ISO 11277:1998, IDT). 2005. 32 с.
- Зайцев Ю., Кирильчук А., Ослопова М. Побічна продукція як елемент біологізації землеробства ґрунтів Київської області. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Агрономія та біологія*. 2022. Вип. 2 (48). С. 63–68.
- Іванишин В.В., Роїк М.В., Шувар І.А., Центило Л.В., Сендецький В.М., Бунчак О.М., Колісник Н.М. Біологізація землеробства в Україні: реалії та перспективи: науково-виробниче видання. Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2016. 284 с.
- Іванишин В.В., Шувар І.А., Бахмат М.І., Сендецький В.М., Танчик С.П., Центило Л.В., Бунчак О.М., Мельничук Т.В. Солома, післяжнивні рештки і сидерати – агротехнологічні елементи біологізації сучасного землеробства: монографія / за заг. ред. І.А. Шуvara, В.М. Сендецького. Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2020. 292 с.
- Медведєв В.В., Пліско І.В. Критерії і нормативи фізичної деградації орних ґрунтів (пропозиції до вдосконалення нормативної бази). *Вісник аграрної науки*. 2017. № 3. С. 11–17.
- Медведєв В.В., Пліско І.В., Криlach С.І., Накісько С.Г., Уваренко К.Ю. Фізична деградація орних ґрунтів України (оцінювання, профілактика, призупинення). Харків : ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського», 2020. 110 с.
- Панченко А.Н. Теорія подрібнення ґрунту ґрунтообробними робочими органами. Дніпропетровськ, 1999. 139 р.
- Проект Плану відновлення України. *Матеріали робочої групи «Екологічна безпека»*. Національна рада з відновлення України від наслідків війни. 2022. [Електронний ресурс]. URL:

<https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/recoveryrada/ua/environmental-safety-assembly.pdf> (дата звернення 25.10.2024).

Стрілець І.Ю. Концептуальні напрями вдосконалення системи охорони земель сільськогосподарського призначення та відтворення родючості ґрунтів: український та зарубіжний аспект. *Проблеми сучасних трансформацій. Серія: право, публічне управління та адміністрування*. 2022. № 6. [Електронний ресурс]. URL: <https://reicst.com.ua/pmtl/article/view/2022-6-01-17> (дата звернення 26.10.2024).

Трускавецький Р.С., Цапко Ю.А. Основи управління родючістю ґрунтів. Харків, 2016. 388 с.

Цицюра Я.Г., Неїлик М.М., Дідур І.М., Поліщук М.І. Сидерація як базова складова біологізації сучасних систем землеробства. Монографія. Вінниця : Видавець ТОВ «Друк», 2022. 770 с.

Шувар І.А. Сидерати в сучасному землеробстві. Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2015. 156 с.

Fan Z.L., Chai Q., Cao W.D., Yu A.Z., Zhao C., Xie J.H., Yin W., Hu F.L. Ecosystem service function of green manure and its application in dryland agriculture of China. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao*. 2020. Vol. 31. № 4. P. 1389–1402.

Fanish S.A. Impact of Green Manure Incorporation on Soil Properties and Crop Growth Environment: A Review. *World Journal of Agricultural Sciences*. 2017. Vol. 13. № 3. P. 122–132.

Kazakou E., Violle C., Roumet C., Pintor C., Gimenez O., Garnier E. Litter quality and decomposability of species from a Mediterranean succession depend on leaf traits but not on nitrogen supply. *Annals of Botany*. 2009. Vol. 104. № 6. P. 1151–1161.

Lei B., Wang J., Yao H. Ecological and Environmental Benefits of Planting Green Manure in Paddy Fields. *Agriculture*. 2022. Vol. 12 (2). P. 223.

Patra A., Singh R.P., Kundu M.S., Kumar G., Malkani P., Singh B.K., Choudhury S., Kundu A., Mukherjee S. Green Manuring: A Sustainable Approach for Soil Health Improvement. *Agricultural and food: E-Newsletter*. 2023. Vol. 5. № 4. P. 198–201.

Qaswar M., Huang J., Ahmed W., Li D., Liu S., Ali S., Liu K., Xu Y., Zhang L., Liu L. Long-Term Green Manure Rotations Improve Soil Biochemical Properties, Yield Sustainability and Nutrient Balances in Acidic Paddy Soil under a Rice-Based Cropping System. *Agronomy*. 2019. Vol. 9. № 12. P. 780.

Quintarelli V., Radicetti E., Allevato E., Stazi S.R., Haider G., Abideen Z., Bibi S., Jamal A., Mancinelli R. Cover Crops for Sustainable Cropping Systems: A Review. *Agriculture*. 2022. Vol. 12. P. 2076.

Ramirez-Garcia J., Gabriel J.L., Alonso-Ayuso M., Quemada M. Quantitative characterization of five cover crop species. *The Journal of Agricultural Science*. 2015. Vol. 153. № 7. P. 1174–1185.

Sharma P., Singh A., Kahlon C.S., Brar A.S., Grover K., Dia M., Steiner R.L. The Role of Cover Crops towards Sustainable Soil Health and Agriculture – A Review Paper. *American Journal of Plant Sciences*. 2018. Vol. 09. P. 1935–1951.

Stähly S., Friedrich H., Detert M. Size ratio of fluvial grains' intermediate axes assessed by image processing and square-hole sieving. *Journal of Hydraulic Engineering*. 2017. Vol. 143. P. 1–6.

Ugrenović V., Filipović, V., Jevremović, S., Marjanović J.A., Popović, V., Buntić A., Delić, D. Effect of Brassicaceae as cover crops. *Selekcija i semenarstvo*. 2019. Vol. 25. № 2. P. 1–8.

Wong J. Handbook of statistical analysis and data mining applications. Cambridge, Academic Press, 2018. 589 p.

References

Baliuk, S.A., & Medvediev, V.V. (2012). Stratehiia zbalansovanoho vykorystannia, vidtvorennia i upravlinnia gruntovymy resursamy Ukrainy [Strategy of balanced use, reproduction and management of soil resources of Ukraine]. K. : Ahrarna nauka [in Ukrainian].

Baliuk, S.A., Medvediev, V.V., Vorotyntseva, L.I., & Shymel, V.V. (2017). Suchasni problemy dehradatsii gruntiv i zakhody shchodo dosiahnennia neitralnogo yii rivnia [Modern problems of soil degradation and measures to achieve its neutral level.]. *Visnyk ahrarnoi nauky [Bulletin of Agrarian Science]*, 8, 5–11. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201708-01> [in Ukrainian].

Bulyhin, S.Iu., Vitvitskyi, S.V., Bulanyi, O.V., & Tonkha O.L. (2019). Monitorynh yakosti gruntiv [Monitoring of soil quality]. K. : Vydavnytstvo NUBiP Ukrainy [in Ukrainian].

Haskevych, V.H., Papish, I.Ia., & Telehuz, O.H. (2021). Fyzyka gruntiv. Laboratornyi praktykum. Navchalnyi posibnyk [Soil physics. Laboratory workshop. Study guide]. Lviv : LNU imeni Ivana Franka [in Ukrainian].

DSTU ISO 11277:2005. (2005). Yakist gruntu. Vyznachennia hranulometrychnoho skladu mineralnogo materialu gruntu. Metod prosiuvannia ta sedimentatsii [Soil quality. Determination of the particle size distribution of soil mineral material. Sieving and sedimentation method] (ISO 11277:1998, IDT) [in Ukrainian].

Zaitsev, Yu., Kyrylchuk, A., & Oslopova, M. (2022). Pobichna produktsiia yak element biolohizatsii zemlerobstva gruntiv Kyivskoi oblasti [By-products as an element of biologization of agricultural soils of Kyiv region]. *Visnyk Sumskoho natsionalnogo ahrarnoho universytetu. Seria: Ahronomiia ta biolohiia* [Bulletin of Sumy National Agrarian University. Series: Agronomy and biology], 2(48), 63–68. <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.10> [in Ukrainian].

Ivanyshyn, V.V., Roik, M.V., Shuvar, I.A., Tsentylo, L.V., Sendetskyi, V.M., Bunchak, O.M., & Kolisnyk, N.M. (2016). Biolohizatsiia zemlerobstva v Ukraini: realii ta perspektyvy: naukovovyrobnyche vydannia [Biologisation of agriculture in Ukraine: realities and prospects: a scientific and production publication]. Ivano-Frankivsk : Symfoniia forte [in Ukrainian].

Ivanyshyn, V.V., Shuvar, I.A., Bakhmat, M.I., Sendetskyi, V.M., Tanchyk, S.P., Tsentylo, L.V., Bunchak, O.M., & Melnychuk, T.V. (2020). Soloma, pisliazhnyvnireshhtkyisyderaty–ahrotekhnolohichni elementy biolohizatsii suchasnoho zemlerobstva: monohrafiia [Straw, post-harvest residues and green manure - agrotechnological elements of biologization of modern agriculture: a monograph] / za zah. red. I.A. Shuvara, V.M. Sendetskoho. Ivano-Frankivsk : Symfoniia forte [in Ukrainian].

Medvediev, V.V., & Plisko, I.V. (2017). Kryterii i normatyvy fizychnoi dehradatsii ornykh gruntiv (propozytsii do vdoskonalennia normatyvnoi bazy) [Criteria and standards of physical degradation of arable soils (proposals for improving the regulatory framework)]. *Visnyk ahrarnoi nauky* [Bulletin of Agrarian Science], 3, 11–17. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201703-02> [in Ukrainian].

Medvediev, V.V., Plisko, I.V., Krylach, S.I., Nakisko, S.H., & Uvarenko K.Iu. (2020). Fizychna dehradatsiia ornykh gruntiv Ukrainy (otsiniuvannia, profilaktyka, pryzupynennia) [Physical degradation of arable soils in Ukraine (assessment, prevention, suspension)]. Kharkiv : NNTs «Instytut gruntoznastva ta ahrokhimii imeni O. N. Sokolovskoho» [in Ukrainian].

Panchenko, A.N. (1999). Teoriia podribnennia gruntu gruntoobrobnymy robochymy orhanamy [The theory of soil crumbling by tillage tools]. Dnipropetrovsk [in Ukrainian].

Proiekt Planu vidnovlennia Ukrainy [Draft Recovery Plan for Ukraine. Materials of the working group 'Environmental Safety'] (2022). *Materialy robochoi hrupy «Ekolohichna bezpeka». Natsionalna rada z vidnovlennia Ukrainy vid naslidkiv viiny* [National Council for the Reconstruction of Ukraine from the Consequences of War]. [Electronic resource] URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/recoveryrada/ua/environmental-safety-assembly.pdf> (access date 25.10.2024) [in Ukrainian].

Strilets, I.Iu. (2022). Kontseptualni napriamy vdoskonalennia systemy okhorony zemel silskohospodarskoho pryznachennia ta vidtvorennia rodiuchosti gruntiv: ukrainskyi ta zarubizhnyi aspekt [Conceptual directions for improving the system of agricultural land protection and soil fertility reproduction: Ukrainian and foreign aspects.]. *Problemy suchasnykh transformatsii. Seria: pravo, publichne upravlinnia ta administruvannia* [Problems of modern transformations. Series: law, public administration and management], 6. [Electronic resource] URL: <https://reicst.com.ua/pmtl/article/view/2022-6-01-17> (access date 26.10.2024) [in Ukrainian].

Truskavetskyi, R.S., & Tsapko, Yu.L. (2016). Osnovy upravlinnia rodiuchistiu gruntiv [Fundamentals of soil fertility management]. Kharkiv [in Ukrainian].

Tsytsiura, Ya.H., Neilyk, M.M., Didur, I.M., & Polishchuk, M.I. (2022). Syderatsiia yak bazova skladova biolohizatsii suchasnykh system zemlerobstva. Monohrafiia [Green manure as a basic component of biologisation of modern farming systems. Monograph]. Vynnytsia : Vydavets TOV «Druk» [in Ukrainian].

Shuvar, I.A. (2015). Syderaty v suchasnomu zemlerobstvi [Green manure in modern farming]. Ivano-Frankivsk : Symfoniia forte. [in Ukrainian].

Fan, Z.L., Chai, Q., Cao, W.D., Yu, A.Z., Zhao, C., Xie, J.H., Yin, W., & Hu, F.L. (2020). Ecosystem service function of green manure and its application in dryland agriculture of China. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao*, 31(4), 1389–1402. <https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.202004.023> [in English].

Fanish, S.A. (2017). Impact of Green Manure Incorporation on Soil Properties and Crop Growth Environment: A Review. *World Journal of Agricultural Sciences*, 13 (3), 122–132. <https://doi.org/10.5829/idosi.wjas.2017.122.132> [in English].

- Kazakou, E., Violle, C., Roumet, C., Pintor, C., Gimenez, O., & Garnier, E. (2009). Litter quality and decomposability of species from a Mediterranean succession depend on leaf traits but not on nitrogen supply. *Annals of Botany*, 104 (6), 1151–1161. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp202> [in English].
- Lei, B., Wang, J., & Yao, H. (2022). Ecological and Environmental Benefits of Planting Green Manure in Paddy Fields. *Agriculture*, 12 (2). 223. <https://doi.org/10.3390/agriculture12020223> [in English].
- Patra, A., Singh, R.P., Kundu, M.S., Kumar, G., Malkani, P., Singh, B.K., Choudhury, S., Kundu, A., & Mukherjee, S. (2023). Green Manuring: A Sustainable Approach for Soil Health Improvement. *Agricultural and food: E-Newsletter*, 5 (4), 198–201. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9783-8_20 [in English].
- Qaswar, M., Huang, J., Ahmed, W., Li, D., Liu, S., Ali, S., Liu, K., Xu, Y., Zhang, L., & Liu, L. (2019). Long-Term Green Manure Rotations Improve Soil Biochemical Properties, Yield Sustainability and Nutrient Balances in Acidic Paddy Soil under a Rice-Based Cropping System. *Agronomy*, 9 (12), 780. <https://doi.org/10.3390/agronomy9120780> [in English].
- Quintarelli, V., Radicetti, E., Allevato, E., Stazi, S.R., Haider, G., Abideen, Z., Bibi, S., Jamal, A., & Mancinelli, R. (2022). Cover Crops for Sustainable Cropping Systems: A Review. *Agriculture*, 12, 2076. <https://doi.org/doi:10.3390/agriculture12122076> [in English].
- Ramirez-Garcia, J., Gabriel, J.L., Alonso-Ayuso, M., & Quemada, M. (2015). Quantitative characterization of five cover crop species. *The Journal of Agricultural Science*, 153 (7), 1174–1185. <https://doi.org/10.1017/S0021859614000811> [in English].
- Sharma, P., Singh, A., Kahlon, C.S., Brar, A.S., Grover, K., Dia, M., & Steiner, R.L. (2018). The Role of Cover Crops towards Sustainable Soil Health and Agriculture – A Review Paper. *American Journal of Plant Sciences*, 09, 1935–1951. <https://doi.org/10.4236/AJPS.2018.99140> [in English].
- Stähly, S., Friedrich, H., & Detert, M. (2017). Size ratio of fluvial grains' intermediate axes assessed by image processing and square-hole sieving. *Journal of Hydraulic Engineering*, 143, 1–6. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0001286](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001286) [in English].
- Ugrenović, V., Filipović, V., Jevremović, S., Marjanović, J.A., Popović, V., Buntić, A., & Delić, D. (2019). Effect of Brassicaceae as cover crops. *Selekcija i semenarstvo*, 25 (2), 1–8. <https://doi.org/10.5937/SelSem1902001U> (in Serbian).
- Wong, J. (2018). Handbook of statistical analysis and data mining applications. Cambridge, Academic Press. <http://doi.org/10.1016/C2012-0-06451-4> [in English].

Отримано: 22.10.2024

Прийнято: 18.11.2024