

DOI <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2025-3.13>
УДК 635.15:631.5

Цицюра Я. Г.

кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри землеробства, ґрунтознавства та агрохімії,
Вінницький національний аграрний університет
Вінниця, Україна
E-mail: yaroslavtsyura@ukr.net
ORCID: 0000-0002-9167-833X

КОНЦЕПЦІЯ ЗАСТОСУВАННЯ РЕДЬКИ ОЛІЙНОЇ ЯК СИДЕРАТУ ЗА РІЗНИХ СТРОКІВ ВИКОРИСТАННЯ НА ПІДСТАВІ БАГАТОРІЧНОГО ЦИКЛУ ВИВЧЕННЯ

Анотація

Актуалізовано систему біоорганічних технологій та систем удобрення сільськогосподарських культур на підставі використання сидератів. Сформульовано переваги сидеральних систем удобрення з позиції загальної ефективності, позитивного впливу на ґрунтові умови родючості, їхній потенціал і перспективи. За тривалий період досліджень (2014–2024 роки) оцінено ефективність використання редьки олійної як сидеральної культури за двох варіантів строкового її використання – весняного строку сівби за сидерального прямого використання сформованої біомаси в червні та літнього (проміжного) строку за прямого сидерального використання сформованої загальної сидеральної маси рослин у жовтні. Досліджено особливості формування сидераційного біопродуктивного й удобрювального (біохімічного) потенціалу надземної листостеблової та кореневої біомаси рослин редьки олійної. Застосовано широке коло рекомендованих і апробованих методик з оцінювання рівнів виходу листостеблової та кореневої маси рослин, повного її біохімічного складу та категоріальних співвідношень для оцінювання потенціалу та динамізму мінералізації її у ґрунті, прогнозування впливу на властивості ґрунту й урожайність наступних культур, а також наявний у культури антисегетальний і біофумігаційний потенціал, з огляду на належність редьки олійної до хрестоцвітвого виду рослин.

Аналіз результатів проведено за спряженої кореляційно-регресійної оцінки з гідротермічними умовами періоду вегетації редьки олійної для обох строків сівби сидерату, із залученням в аналіз як базових показників суми опадів і середньодобової температури, так і аналітичних коефіцієнтів (ГТК, індексу посушливості та індексу зволоження). На підставі узагальнення результатів сформульовано концептуальні положення ефективного застосування редьки олійної в системі різнострокової сидерації з метою ефективної і максимальної реалізації її сидерального потенціалу та реалізації урожайного потенціалу сільськогосподарських культур, вирощуваних у сидеральних багаторічних ланках із редькою олійною.

Ключові слова: концепція застосування, сидераційний потенціал, біопродуктивність рослин, строки сидерації, біофумігація, удобрювальна цінність.

Вступ. Активізація процесів деградації ґрунтового покриву зумовлена цілою низкою об'єктивних причин, зокрема й зниженням рівнів екологізації застосування добрив за співвідношенням внесеної кількості мінеральних і органічних добрив, домінуванням мінеральних систем удобрення та відсутністю в підсумку позитивних процесів гумусонакопичення, що зумовлюють активний пошук біоорганічних систем забезпечення ґрунтового живлення за вирощування сільськогосподарських культур [4, с. 18–25]. Такі підходи актуалізуються і через стійкий дефіцит класичних органічних добрив як з огляду на істотне скорочення поголів'я тварин в Україні й у світовому вимірі, так і через біорециклінове використання різних відходів тваринництва, переважно з анаеробним форматом переробки на біогаз [9, с. 8–10]. Такі динамічні процеси поступово активізують науковий пошук у напрямі більш широкого залучення рослинних біоресурсів відповідних ґрунтово-кліматичних зон для альтернативного заміщення гною на безпосереднє їх використання в технологіях удобрення у варіантах різнострокової та різновидової сидерації [11, с. 5–7; 13, с. 7–9]. Сидерація за цих умов розглядається як варіант безпосереднього залучення біомаси різних видів рослин для безпосередньої ґрунтової імплементації у варіанті проміжного вирощування з наступним загортанням у ґрунт за визначені технологічні строки до посіву основної культури [12, с. 5–7]. Сидерація в сучасних реаліях розглядається як базова стратегія Європейського зеленого курсу (далі – ЄЗК) з позиції забезпечення бездефіцитного чи малодефіцитного балансу гумусу й основних макро- і мікроелементів у ґрунтах, активізації мікробіологічної активності ризосфери ґрунту, зниження його фітотоксичності, оптимізації попередників у сівозміні за відповідного домінування окремих видів рослин у структурі посівних площ, зниження рівнів актуальної та потенційної забур'яненості агроценозів, істотне в перспективі поліпшення агрофізичних і водних властивостей ґрунтів тощо [17, с. 7–12].

Водночас, незважаючи на доведену ефективність сидерації як комплексної біоорганічної системи агротехнологій на фоні удорожчання основних видів агрохімікатів і загального зростання собівартості вирощеної продукції,

проблемними питаннями, які потребують подальшого наукового узагальнення, залишаються аспекти добору оптимальних кандидатів сидерального клину рослин для окремих ґрунтово-кліматичних ресурсів відповідних сільськогосподарських територій з позиції строків сидерації, ефективності її використання під різні види сільськогосподарських культур, проведення аналізу впливу сидерації на основні та супутні властивості й режими ґрунтів [18, с. 123–125; 20, с. 2–3; 22, с. 72–73; 23, с. 25–30]. Такі питання особливо актуальні також на фоні глобальних змін клімату та диверсифікації аграрного виробництва в різних країнах світу, зокрема й в Україні, а також уже згадувана проблема вираженої динаміки приросту деградації ґрунтового покриву [1, с. 4–5; 2, с. 55; 3, с. 173–174].

Виходячи з окреслених вище проблем і тенденцій, важливим буде багаторічне оцінювання застосування в ротацийній системі вирощування основних сільськогосподарських культур різних варіантів сидерації за використання одного з поширених і рекомендованих у практику видів рослин-сидератів, серед яких редька олійна набуває все більшої популярності та практичного застосування в агроформуваннях різних форм власності та спеціалізації.

Мета роботи. Дослідження та оцінювання різнострокової сидерації за застосування біопродуктивного потенціалу редьки олійної (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.) у варіантах біоорганічних (сидеральних) технологій у рамках виконання державної програми «Розробка екологоорієнтованих технологій вирощування біоенергетичних культур для забезпечення енергонезалежності та ґрунтозбереження для формування кліматичної нейтральності» (№ держреєстрації 0124U000483).

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження передбачали тривале вивчення сидерального різнострокового використання редьки олійної як сидерату впродовж 2014–2024 рр. на дослідному полі Вінницького національного аграрного університету (геолокація місця досліджень: N 49°11'31", E 28°22'16"). Ґрунтовий покрив дослідного поля – сірі лісові ґрунти з такими агрохімічними характеристиками: уміст 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_{кел} 5,8.

Усі роки досліджень вирощувався сорт редьки олійної Журавка, який має комбіноване використання (зелена маса – сидерація – насіння) на неудобреному фоні (варіант сидеральної технології з мінімальними витратами) за норми висіву 2,5 млн схожих насінин/га звичайним рядковим способом (міжряддя – 15 см). Вивчалися паралельно дві системи сидерального використання редьки олійної:

I. Система ранньовесняної сівби після проміжного обробітку за застосування культивациі (8–10 см із вирівнюванням на першу-другу декаду квітня) на фоні зяблевої оранки (20–22 см) за сидерального використання сформованої біомаси на фазу цвітіння (ВВСН 64–67, календарно – друга-третья декада червня).

II. Система літньої сівби відразу після збирання попередника за використання комбінованого обробітку ґрунту (плоскоріз + ротацийне розпушування з вирівнюванням) на глибину 12–14 см у другій-третьій декаді липня за сидерального використання сформованої біомаси на фазу цвітіння (ВВСН 64–67, календарно на другу-третью декаду жовтня).

Рослинну масу сидерату заробляли у ґрунт після скошування з подрібненням та подільшого застосування безпліцевого обробітку на глибину 12–15 см, відповідно до рекомендацій для умов нестійкого зволоження [7, с. 78–80].

Для проведення аналізу потенційної сидеральної продуктивності редьки олійної як за весняного, так і за літнього строку сівби було сформовано сидеральні агроценози редьки олійної відповідно до вказаних вище параметрів. Схема дослідження передбачала чотириразову повторність за рендомізації варіантів. Загальна площа ділянки була 35 м², а облікова – 25 м².

Облік надземної біомаси рослин проводили безпосередньо перед сидеральним застосуванням у всіх повтореннях на рендомізованих ділянках площею 1 м² шляхом скошування та зважування на лабораторних вагах [6, с. 18–20].

Для супутнього визначення обсягів формування кореневої біомаси до частини периметра облікових ділянок з формування надземної біомаси було застосовано метод монолітів [15, с. 2–5] для оцінювання біопродуктивності кореневої системи рослин промиванням сформованих монолітів із кроком шару в 10 см на колонках решіт (ситя лабораторні дротяні (ТУ України ТС 14-4-507-99): 4,0 мм, 2,0 мм, 1,0 мм, 0,5 мм та 0,25 мм). Відібрані таким чином корені підсушувались протягом доби за кімнатної температури та зберігались у герметичних пакетах для вагового аналізу.

Уміст сухої речовини визначали загальноприйнятим методом через висушування в сушильній шафі за температури 105 °С до постійної маси [10, с. 20–22; 28, с. 105–110]. Біохімічний аналіз рослинної маси редьки олійної проводили в перерахунку на абсолютно суху речовину із застосуванням стандартних протокольних методів визначення базових показників, які детально описано в одній із наших публікацій [26, с. 1029–1033].

Рівень забур'яненості агроценозів культур після сидерації оцінювався за методикою Європейської асоціації гербологів (EWRs), ухваленою до застосування в Україні у 2013 р. [27, с. 662–664], з обліком у 50 облікових квадратах площею 1 м², з розподілом їхньої кількості на 4 повторення дослідження. Облік сформованої маси бур'янів проводили паралельно з обліком надземної сидеральної маси рослин редьки шляхом прямого відбору бур'янистих видів з облікового снопа [27, с. 663].

Облік урожайності культур, під які було застосовано сидерацію, здійснено на підставі чинної методики державного сорто випробування сортів і гібридів сільськогосподарських культур [6, с. 15–20]. За контроль було використано ділянки даних культур без застосування сидерації, за однакових технологій подальшого їх вирощування.

Аналіз погодних умов та рівня їхньої мінливості за період 2014–2024 рр. проводився на основі розрахунку гідротермічного коефіцієнта (далі – ГТК) відповідно до рівняння 1, індексу посушливості (I_n) відповідно до рівняння 2, коефіцієнта зволоження (K_z) відповідно до рівняння 3. Зведені дані та графічна інтерпретації гідротермічних умов вегетації послідовно представлені в табл. 1 та на рис. 1.

$$ГТК = \frac{\sum R}{0.1 \times \sum t_{>10}}, \quad (1)$$

де: $\sum R$ – сума опадів (мм) за період із температурою вище ніж 10 °С, $\sum t_{>10}$ – сума ефективних температур за той самий період.

$$I_n = \frac{12P_{on}}{T_{сер.} + 10}, \quad (2)$$

де: P_{on} і $T_{сер.}$ – кількість опадів і середня температура повітря у відповідному місяці.

$$K_z = \frac{P}{E}, \quad (3)$$

де: K_z – коефіцієнт зволоження; P – сума опадів, мм; E – випаровуваність за аналізований період (яку розраховували відповідно до рівняння 4), мм.

$$E = 0,0018 \times (25 + t)^2 \times (100 - a), \quad (4)$$

де: E – випаровуваність рослин для визначеного періоду, мм; t – середня температура повітря за період, °С; a – середня вологість повітря, %.

З урахуванням оптимальних параметрів для ростових процесів рослин редьки олійної на підставі супутніх тривалих оцінок [12, с. 11–30; 24, с. 270–275; 25, с. 225–230; 25, с. 220–222; 26, с. 1035–1045], роки досліджень було розміщено в такому порядку зростання сприятливості ростових процесів для умов весняного строку сівби: 2017–2015–2016–2018–2021–2022–2023–2024–2014–2020–2019 рр. Для умов літнього строку сівби аналогічний ряд був такий: 2021–2019–2015–2016–2024–2023–2014–2020–2018–2017–2022 рр.

Для статистичної обробки отриманих результатів було використано пакет програми “Statistica 10” (StatSoft – Dell Software Company, США) з розрахунком середнього арифметичного, стандартного відхилення (SD) та коефіцієнта варіації (C_v). Для визначення статистично значимої різниці між варіантами було застосовано стандартну схему дисперсійного аналізу [30, с. 69–85], а для оцінювання тісноти зв’язку між парами ознак – систему кореляційного аналізу [30, с. 86–95].

Ступінь інтегральності зв’язку в системі кореляційних пар оцінювали за значенням коефіцієнта детермінації зв’язку (рівняння 5):

$$d_{yx} = r_{ij}^2 \times 100, \quad (5)$$

де: r_{ij} – коефіцієнт кореляції між i -м та j -м показником.

Відмічено, що концептуальні принципи сидерального використання певного виду культур мають базуватись на окремих блоках [18, с. 124–125]. Перший стосується дослідження оптимальності строків сидерального використання культури з огляду на її біопродуктивність і сталість даного показника з позиції мінливості гідротермічних умов вегетації. До цього блоку варто віднести й оцінку біохімічного сидерального потенціалу культури. Другий охоплює аспекти оцінювання контролю рівня гербоконкуренції за показниками рівня забур’яненості як одного з важливих складників контролю загальної фітотоксичності ґрунту та рівня сеgetальної чистоти поля. Третій – передбачає безпосереднє оцінювання впливу застосування сидератів на рівень урожайності відповідних сільськогосподарських культур у зіставленні з контролем без сидерації.

Багаторічний період дослідження сидеральної біопродуктивності редьки олійної за різних строків сівби (табл. 2) дозволив ідентифікувати ефективність сидерального використання редьки олійної на ґрунтах середнього потенціалу ґрунтової родючості за високого рівня мінливості гідротермічних умов. Для весняного строку сівби редьки олійної ріст і розвиток рослин за аналізований період відбувався на фоні міжрічної мінливості (за показником коефіцієнта варіації (C_v)), за середньодобовою температурою на рівні 7,06%, а за сумою опадів – на рівні 35,21%. За літнього строку сівби дані показники були на рівні 8,04 та 32,66% відповідно. На підставі відносної сталості температурного режиму основним фактором впливу на біопродуктивність редьки олійної як сидерату був режим атмосферного зволоження, тобто кількість опадів. Установлено істотно вищий рівень біопродуктивності редьки олійної за її сидерального використання за весняного строку сівби.

Таблиця 1. Оцінювання значень гідротермічних режимів періоду активної вегетації редьки олійної для варіанту весняного та літнього строку сівби сидерату, 2014–2024 рр.

Рік	Сума опадів, мм (IV–VI)	$t_{aver}^{\circ C}$ (IV–VI)	Місяці періоду вегетації													
			IV			V			VI							
			ГТК	I _{DM}	K _h	ГТК	I _{DM}	K _h	ГТК	I _{DM}	K _h					
Варіант весняного строку сівби сидерату																
2014 р.	339,6	13,84	0,725	45,7	1,18	3,928	88,9	2,11	1,545	34,8	0,83					
2015 р.	142,3	14,36	0,645	37,3	0,78	0,917	20,6	0,41	0,715	16,9	0,27					
2016 р.	193,4	15,06	0,296	21,6	0,44	0,489	40,4	0,99	1,265	29,9	0,75					
2017 р.	125,1	14,07	3,919	39,2	0,75	0,777	16,8	0,34	0,504	11,9	0,22					
2018 р.	170,8	16,38	0,290	10,8	0,19	0,308	7,2	0,12	4,404	103,7	2,31					
2019 р.	398,5	15,39	0,565	33,5	0,72	4,902	111,0	3,29	1,682	41,4	0,96					
2020 р.	343,8	13,67	0,091	36,4	0,50	5,327	106,4	3,18	1,548	37,3	0,89					
2021 р.	282,8	13,26	0,233	38,8	0,96	3,125	66,7	1,64	1,679	39,8	1,00					
2022 р.	242,1	14,30	0,563	57,4	2,33	1,430	31,3	0,79	1,496	36,1	0,85					
2023 р.	239,8	14,18	1,543	91,5	3,33	0,085	1,90	0,04	1,640	38,9	0,87					
2024 р.	262,1	16,27	3,259	47,5	3,18	0,577	13,19	0,24	1,660	40,4	0,98					
Рік	Сума опадів, мм (VII–X)	$t_{aver}^{\circ C}$ (VII–X)	Місяці періоду вегетації													
			VII			VIII			IX			X				
			ГТК	I _{DM}	K _h	ГТК	I _{DM}	K _h	ГТК	I _{DM}	K _h	ГТК	I _{DM}	K _h		
Варіант літнього строку сівби сидерату																
2014 р.	250,8	15,4	1,312	32,7	0,77	1,049	26,0	0,51	1,252	25,7	0,56	1,770	35,8	0,93	–	–
2015 р.	160,8	16,6	0,321	8,1	0,14	0,124	3,1	0,05	1,184	26,8	0,63	3,039	49,4	1,25	0,2	245,5
2016 р.	212,7	15,6	1,056	26,5	0,55	0,898	22,0	0,43	0,014	2,5	0,05	0,548	63,4	2,45	9,5	256,1
2017 р.	318,0	16,0	1,524	37,5	0,72	0,819	20,7	0,38	3,100	61,2	1,57	1,065	30,0	1,26	–0,6	325,7
2018 р.	273,4	16,4	2,158	53,4	1,63	0,585	14,6	0,30	1,378	27,2	0,71	0,873	27,6	0,95	–0,4	323,7
2019 р.	161,7	16,0	1,013	24,4	0,56	0,237	5,9	0,11	0,994	20,7	0,42	0,383	27,4	0,93	0,0	271,0
2020 р.	245,4	17,6	0,589	14,7	0,31	0,527	13,2	0,22	0,859	27,5	0,54	2,544	60,6	3,05	2,9	200,5
2021 р.	176,9	15,4	0,782	20,1	0,45	1,459	35,7	0,91	0,705	17,6	0,51	0,000	1,7	0,04	–0,3	356,1
2022 р.	436,6	16,0	0,900	22,4	0,58	1,712	43,1	1,06	4,960	98,1	2,60	3,167	51,4	1,50	1,2	216,9
2023 р.	247,1	18,3	1,414	35,8	0,82	0,652	16,9	0,36	1,015	23,4	0,63	1,025	29,9	0,93	2,2	278,0
2024 р.	219,8	19,6	1,190	31,1	0,66	0,771	19,8	0,41	0,445	10,6	0,22	1,173	30,5	1,06	2,9	371,2

Примітка: * – середня середньодобова температура (°C); ** – сума опадів (мм) за період листопад попереднього року – березень наступного.

Таблиця 2. Зіставний рівень біопродуктивності редьки олійної в сидеральному її агроценозі за різних строків сівби на фазу цвітіння (ВВСН 64–67), 2014–2024 рр.

Показники сидеральної продуктивності		Роки											НІР _{0.5}
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	
Вихід надземної біомаси, т/га	1*	33,49	20,11	21,29	15,22	13,89	35,75	30,88	24,12	21,18	24,48	20,12	1,42
	2	22,21	9,49	21,05	23,79	23,12	10,11	11,29	16,22	24,77	21,39	9,77	1,24
Вихід надземної біомаси в сухій речовині, т/га	1	4,10	2,84	3,02	2,09	2,10	4,03	3,93	2,85	2,81	3,20	2,71	0,23
	2	3,37	1,66	3,36	3,39	3,45	1,73	1,82	2,73	3,33	3,37	1,55	0,37
Вихід кореневої біомаси, т/га	1	13,28	7,88	6,22	4,47	3,39	14,85	13,02	9,57	7,44	6,87	5,97	1,09
	2	6,59	1,39	5,77	7,21	5,52	3,58	3,09	6,49	8,03	7,33	2,84	0,65
Вихід кореневої біомаси в сухій речовині, т/га	1	2,71	1,82	1,35	1,02	0,81	3,07	2,58	1,83	1,60	1,45	1,23	0,25
	2	1,46	0,35	1,33	1,52	1,29	0,72	0,70	1,51	1,76	1,72	0,68	0,14

Примітка: *1 – весняний строк сівби; 2 – літній строк сівби.

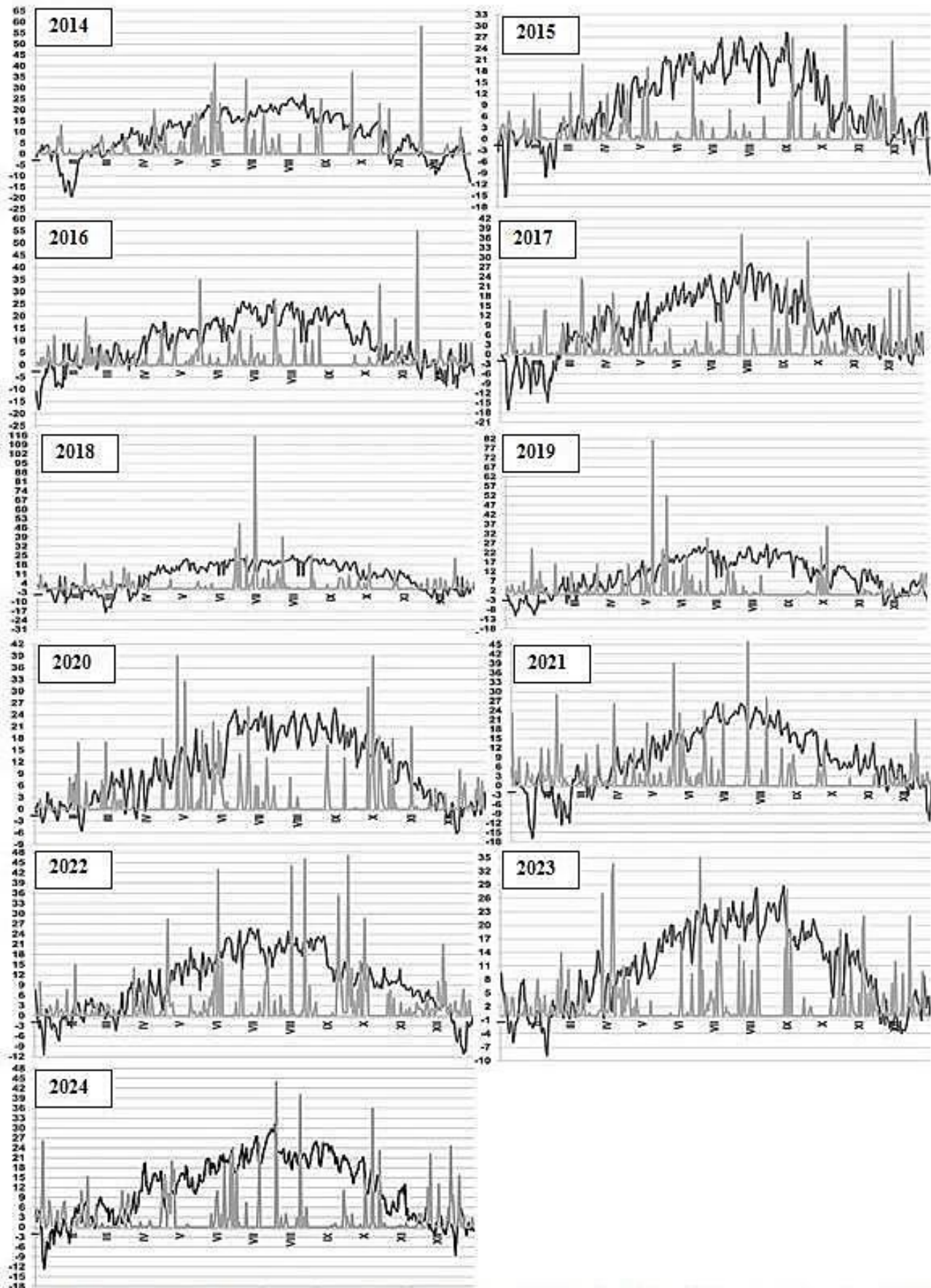


Рис 1. Динаміка гідротермічних умов, 2014–2024 рр.
(чорна лінія графіка – середньодобова температура повітря, °С; сіра лінія – сума опадів, мм)

Так, середньобаторічний показник виходу надземної маси за весняного строку сівби культури був у значенні 23,68 т/га, або 3,06 т/га у сухій речовині. За літнього строку сівби аналогічні показники становили 17,56 та 2,71 т/га відповідно. Аналогічну динаміку отримано й за показником виходу кореневої біомаси сидерату – 8,45 та 1,77 т/га за весняного, 5,26 та 1,19 т/га за літнього строку сівби. Зазначено різний рівень мінливості показника в зіставленні двох строків сівби. Для умов весняного строку сівби усереднено для показників загальної біомаси та біомаси у виразі сухої речовини – на рівні міжрічного варіювання 25,57%, а для умов літнього строку – 33,18%. У разі оцінювання формування кореневої біомаси аналогічні показники становили 42,96 та 41,21% відповідно. Істотно нижчі показники мінливості для весняного строку сівби за показником надземної біомаси в редьки олійної підтверджують вищу оптимальність її весняного строку. Навпаки, істотно вищі рівні мінливості за формуванням кореневої біомаси для різних строків сівби вказують на широкий спектр адаптивних реакцій у розвитку кореневої системи редьки олійної з позиції підтримання сталості коефіцієнта продуктивності кореневої системи за співвідношенням сформованої надземної та кореневої біомас рослини. Даний показник для весняного строку сівби був на рівні 1,86 (за міжрічного значення C_v 21,99%), а за літнього строку сівби – 2,49 (32,20%). Отже, редька олійна здатна завдяки адаптивному механізму інтенсифікації ростових процесів з істотним зростанням продуктивності кореневої системи формувати високий рівень біопродуктивного потенціалу й за літнього строку сівби її як сидерату. Результати такого оцінювання дозволяють віднести редьку олійну до адаптивних сидеральних культур із широким діапазоном строкового сидерального використання для умов нестійкого зволоження. Такі висновки підтверджуються зіставленням біопродуктивності редьки олійної та традиційних сидеральних культур хрестоцвітої групи для умов Правобережного Лісостепу, гірчиці білої та ріпаку ярого. Відповідно до [11, с. 10–21; 12, с. 197–217; 23, с. 28–37] сидеральна продуктивність гірчиці білої у варіантах весняного строку сівби досягала на сірих лісових ґрунтах у багаторічному вимірі для умов Лісостепу України показника 23,17 т/га (2,84 т/га у сухій речовині), а для умов літньої (проміжної) сівби – 14,29 т/га (2,09 т/га). Показники продуктивності ріпаку ярого у варіантах його сидерального використання були в середньому на 23,5% нижчими.

Установлено також, що основним лімітуючим фактором у формуванні біопродуктивності редьки олійної як сидерату є рівень зволоження за показником кількості опадів і загальний гідротермічний режим (відповідні коефіцієнти) (табл. 3).

Таблиця 3. Кореляційні залежності сидеральної біопродуктивності редьки олійної від гідротермічних ресурсів періоду вегетації за період 2014–2024 рр. (у єдиній системі зіставлення роки – повторення, за N=44 для кожного строку сівби)*

Кореляційні пари	Опади (мм)	Середньодобова температура (°C)	ГТК	I_n	K_z
Вихід листостеблової (надземної) біомаси (т/га)	<u>0,78</u>	<u>-0,37</u>	<u>0,89</u>	<u>0,92</u>	<u>0,85</u>
	0,63	-0,51	0,73	0,85	0,75
Вихід кореневої біомаси (т/га)	<u>0,77</u>	<u>-0,42</u>	<u>0,87</u>	<u>0,91</u>	<u>0,89</u>
	0,61	-0,59	0,77	0,80	0,74

Примітка: * рівень значущості для $p < 0,05$, інтервал $r = 0,15-0,19$, для $p < 0,01$ $r = 0,20-0,25$, для $p < 0,001$ $r > 0,25$; ** – у чисельнику значення за весняного, у знаменнику – за літнього строку сівби.

Зокрема, за показником детермінації ознак надземна біопродуктивність редьки олійної в сидеральному агроценозі із прямим характером формування за весняного строку сівби на 60,84% визначається кількістю опадів від сходів до сидерального застосування культури, на 79,21% визначається показником ГТК, на 84,64% визначається індексом посушливості (I_n), на 72,25% – коефіцієнтом зволоження (K_z). Вплив рівня середньодобової температури мав обернений характер за детермінації обсягів сформованої надземної біомаси у значенні 13,69%. Аналогічні значення залежностей у варіанті весняного строку сівби встановлено для обсягів формування кореневої біомаси рослин.

Для варіанту літнього строку сівби характер детермінації для всіх пар ознак був у середньому на 10,7% нижчим, що підтверджує зроблені висновки щодо адаптивності редьки олійної до аридизації умов вегетації за літнього строку сівби завдяки описаним механізмам, що властиві їй як покривній багатопротильній культурі [23, с. 143–148; 24, с. 273–279; 25, с. 942–943]. Варто зауважити, що для гірчиці білої подібні залежності були на цьому ж рівні, проте залежність від гідротермічних умов за літнього строку її сівби, навпаки, була вищою, ніж за варіанту весняного строку [11, с. 251–253]. Подібні особливості відмічено і для варіанту використання ріпаку ярого як сидерату [11, с. 8–11]. Такі особливості на фоні істотно вищих темпів наростання надземної маси в редьки олійної порівняно з гірчицею білою та ріпаком ярим [24, с. 270–273], особливо за індикації аридизації періоду вегетації, доводять доцільність використання редьки олійної як за весняного, так і за літнього строку сівби у класичних ланках сівозміни, з насиченням сидеральними культурами за схемою весняний строк сівби під класичні озимі зернові культури та ярі технічні, а для варіанту літнього строку сівби – культури ярої ранньої та ранньої пізньої видових груп (не хрестоцвітих видів).

Важлива біохімічна цінність редьки олійної як сидерату. За усередненими показниками основний біохімічний склад у розрізі як строків, так і типології рослинної маси (надземна листостеблова та коренева) представлено

в табл. 4. Відповідно до усереднених даних і на підставі градаційної оцінки [28, с. 17–24] надземна маса редьки олійної на фазу цвітіння, яка рекомендована для сидерального її використання як за весняного, так і за літнього строку сівби, належить до високопротеїнових, з умістом сирого протеїну вище ніж 15% на абсолютно суху речовину. Її варто віднести також до рослинної маси з високою зольністю, що є цінним з позиції джерела макро- і мікроелементів за її мінералізації у ґрунті.

Таблиця 4. Середньобагаторічні показники біохімічного складу рослинної маси редьки олійної за вирощування її як сидерату різних строків сівби на фазу цвітіння (ВВСН 64–67) (середнє за період 2014–2024 рр. у розрахунку на абсолютно суху речовину)

Параметри біохімічного складу (у % на абсолютно суху речовину)	Надземна листостеблова маса		Коренева маса	
	1*	2	1	2
Сирий протеїн (СП)	14,94 ± 1,77**	17,94 ± 2,12	8,10 ± 1,17	9,98 ± 1,84
Сирий жир (СЖ)	4,11 ± 0,83	4,97 ± 0,71	1,86 ± 0,57	2,27 ± 0,34
Сира клітковина (СК)	21,87 ± 1,42	25,12 ± 1,31	48,61 ± 4,32	36,79 ± 2,06
Сира зола (СЗ)	13,22 ± 0,91	16,14 ± 0,75	6,86 ± 0,93	5,65 ± 1,05
Нейтрально-дигергентна клітковина (НДК)	37,15 ± 1,52	44,12 ± 1,27	54,01 ± 3,91	45,30 ± 1,26
Кислотно-дигергентна клітковина (КДК)	25,91 ± 2,42	31,17 ± 1,38	50,72 ± 4,55	40,58 ± 1,63
Лігнін (Л)	4,29 ± 0,82	6,59 ± 0,58	13,30 ± 1,12	9,83 ± 0,56
Целюлоза (Ц)	21,62 ± 1,77	24,58 ± 1,59	38,06 ± 3,31	30,75 ± 1,30
Геміцелюлоза (ГЦ)	11,24 ± 1,73	12,95 ± 1,57	3,28 ± 0,84	4,71 ± 1,03
Загальний уміст: – азоту (N)	2,39 ± 0,37	2,87 ± 0,44	1,30 ± 0,19	1,60 ± 0,29
– органічного вуглецю (С)	39,70 ± 1,17	40,57 ± 1,25	39,56 ± 1,11	40,94 ± 1,14
– фосфору (Р)	0,71 ± 0,19	0,65 ± 0,09	0,43 ± 0,10	0,37 ± 0,05
– калію (К)	3,97 ± 1,18	4,07 ± 0,81	2,87 ± 0,86	2,40 ± 0,48
– кальцію (Са)	1,08 ± 0,19	1,17 ± 0,21	0,46 ± 0,06	0,34 ± 0,12
– сірки (S)	0,48 ± 0,10	0,55 ± 0,17	0,66 ± 0,12	0,64 ± 0,12
– глюкозинолатів, мкмоль/г (ГКЗ)	14,37 ± 1,52	20,24 ± 1,75	18,07 ± 1,75	17,51 ± 1,54
Основні співвідношення				
C/N	16,61 ± 2,56	14,14 ± 2,70	30,43 ± 3,65	25,59 ± 6,13
C/P	55,92 ± 12,87	62,42 ± 11,12	92,00 ± 21,14	110,65 ± 14,29
C/S	82,71 ± 26,17	73,76 ± 30,14	59,94 ± 9,92	63,97 ± 12,44
L/N	1,79 ± 0,28	2,30 ± 0,54	10,23 ± 0,83	6,14 ± 1,43
L/P	6,04 ± 1,89	10,14 ± 2,07	30,93 ± 6,07	26,57 ± 3,98
Якість рослинних решток (ЯРР) (100-НДК)+(КДК-Л)	84,47 ± 1,77	80,46 ± 1,02	83,41 ± 1,59	85,45 ± 1,73
Акумуляція				
N, кг/га	73,18 ± 25,40	77,65 ± 31,25	28,32 ± 8,01	15,41 ± 9,26
P, кг/га	21,74 ± 4,57	17,59 ± 4,80	6,55 ± 2,48	5,10 ± 1,81
K, кг/га	121,55 ± 25,52	110,11 ± 22,25	42,48 ± 16,76	34,02 ± 10,19
Ca, кг/га	33,07 ± 7,13	31,65 ± 6,67	6,02 ± 2,89	5,45 ± 1,33
S, кг/га	14,70 ± 1,58	14,88 ± 3,37	11,33 ± 3,17	7,82 ± 2,64
ГКЗ, моль/га	44,00 ± 6,87	54,76 ± 13,67	31,98 ± 11,17	20,76 ± 8,46

Примітка: * 1 – весняний строк сівби; 2 – літній строк сівби; ** – стандартне відхилення (SD).

Наявність рослинних жирів понад 4% у виразі на суху речовину є наслідком належності рослини до групи олійних хрестоцвітих і, з позиції сидерального використання, є цінною для забезпечення гідролітичної стадії їх розщеплення під час розкладення рослинної надземної маси у ґрунті. Це формує передумови до сповільненого процесу мінералізації на початкових етапах контакту маси із ґрунтом з формуванням підстадій гідролітичного ослизнення та забезпечує процес мінералізації навіть за нижчих значень вологості ґрунту на етапі ліпідної деструкції, що позитивно узгоджується з низкою оцінок [19, с. 4–5].

Водночас наземна маса має високий вміст клітковини (понад 20%), що на фоні високого вмісту нейтрально-дигергентної клітковини (НДК) та помірного вмісту лігніну, вираженого диспаритету між умістом целюлози та геміцелюлози (середнє співвідношення 2 : 1) формує деякі прогнозовані особливості її розкладення у ґрунті. Зокрема, співвідношення між умістом лігніну й азоту (Л/N) вище одиниці, а також лігніну та фосфору (Л/P)

вище п'яти одиниць, з огляду на [20, с. 4–7], забезпечує повільні темпи розкладу похідних клітковини, особливо лігнізованих структур рослинної наземної біомаси редьки олійної. З огляду на те, що для рослин редьки олійної характерні чітка диференціація з мінімальним умістом клітковини та її похідних у листі та максимальний їх уміст у стеблах і плодах [12, с. 471–480], а також з огляду на показник співвідношення C/N на рівні 14–18 за весняного та 12–15 за літнього строку сівби, за оптимального значення для темпів сидерального розкладу на рівні 20–25 [16, с. 405–407], листостеблова маса редьки олійної застосована як сидерат на фазу цвітіння матиме визначені етапи її розкладу. Ці етапи включатимуть: швидкий розклад листової та генеративної частини (суцвіття) рослин, більш повільний етап розкладу стеблової частини та найбільш повільні темпи розкладу кореневої біомаси, із середнім удвічі вищим показником співвідношень L/N, L/P та C/N. Саме кореневу масу як за весняного, так і за літнього строку сівби варто розглядати як загальностабілізуючий чинник сповільнення темпів розкладу сидеральної маси, особливо в разі активного перемішування її залишків із сформованою надземною масою. Особливість перебігу таких процесів позитивно узгоджується з істотно вищими рівнями вмісту сирової клітковини та її похідних (усереднений по строках сівби коефіцієнт співвідношення між кореневою та надземною біомасою був у значенні 1,57), загалом забезпечує нормалізацію динаміки гниття та формує передумови до позитивного впливу сидерації на зростання агрохімічного потенціалу родючості ґрунтів, зокрема й збільшення вмісту органічного вуглецю та гумусонакопичення [16, с. 4–7; 19, с. 5–7; 20, с. 7–9]. Варто зауважити, що низьке значення співвідношення C/N, особливо за умов достатнього вологозабезпечення та відповідних температур ґрунту, може зумовити занадто швидкі темпи розкладу, що істотно знижує ефективність сидерації з позиції впливу на ґрунтові умови родючості.

Дані висновки було підтверджено таким інтегральним показником, як якість рослинних решток (ЯРР). На підставі [22, с. 472–473] даний показник розглядається з позиції оптимальності рослинної біомаси даного виду рослин для процесів ґрунтової іммобілізації та наступного позитивного впливу на ґрунтові режими. Його значення вище 80 вказує на загальний позитивний вплив застосованої біомаси як біоорганічного компоненту удобрення. За цим критерієм надземна біомаса весняного строку сівби та коренева літнього (табл. 4) є оптимальним варіантом сидерального застосування редьки олійної.

Варто також зазначити, що проведене оцінювання біохімічного складу листостеблової маси редьки олійної в розрізі трьох ключових фенологічних фаз: бутонізації (ВВСН 50–53), цвітіння (ВВСН 64–67) та зеленого стручка (ВВСН 73–75) [25, с. 948–950], засвідчило сталу середньо багаторічну динаміку зростання співвідношення C/N за поступового фенологічного розвитку рослин редьки олійної від 15–17 на фазу бутонізації до 28–32 на фазу зеленого стручка. На підставі цих результатів оптимальний фенологічний інтервал для сидерального використання редьки олійної з метою сповільнення процесу ґрунтового розкладу може бути зміщений на період початку фази зеленого стручка (ВВСН 69–71) для варіанту зони нестійкого зволоження.

Визначено цінність для обох строків сівби як надземної, так і кореневої біомаси редьки олійної з позиції вмісту основних елементів живлення, що позитивно узгоджується з уже зазначеною раніше високою її зольністю. З позиції градації вмісту елементів даний вид сидеральної сировини як за літнього, так і за весняного строків сівби варто віднести до категорії з високим вмістом азоту, калію, кальцію та сірки, з помірним умістом фосфору. Отже, сидеральна маса редьки олійної буде надійним джерелом даних елементів за системного її застосування в сівозміні. Це підтверджується результатами зіставлення середньо багаторічної продуктивності наземної та кореневої біомаси з концентрацією відповідних елементів. Так, за весняного строку сівби в середньобагаторічному вимірі сидерація з використанням редьки олійної в умовах нестійкого зволоження на неудобреному фоні забезпечує надходження у ґрунт з листостебловою та кореневою біомасою 101,5 кг/га азоту, 28,3 кг/га фосфору, 164,0 кг/га калію, 39,1 кг/га кальцію, 26,0 кг/га сірки (табл. 4). За літнього строку сівби дані показники були на рівні 93,1 кг/га, 22,7 кг/га, 144,1 кг/га, 37,1 кг/га та 22,7 кг/га відповідно. Такі результати підтверджують агрохімічний потенціал редьки олійної, усереднений за даними результатів зональних дослідів у різних ґрунтово-кліматичних зонах [8, с. 122–123].

На підставі варіювання вмісту елементів живлення у класичному гної ВРХ, відповідно до український стандартів, сидеральна маса редьки олійної весняного строку сівби в загальному виразі листостеблової та кореневої біомаси буде відповідати еквівалентній масі на рівні 17–19 т/га (з максимумом у різні роки до 26 т/га), а за літнього строку сівби – 15–17 т/га (з максимумом до 28,1 т/га). Такі результати підкреслюють агрохімічну цінність застосування редьки олійної у варіантах біоорганічних технологій удобрення, особливо на ґрунтах з низьким рівнем родючості. Беручи до уваги окреслені вище потенційно високі темпи розкладу листостеблової маси редьки олійної весняного строку сівби, її можна застосовувати як у варіанті сидерації під озимі культури нехрестоцвітої групи, так і у варіанті осінньої сидерації для періоду жовтня – листопада, з огляду на особливості багаторічних гідротермічних режимів території досліджень (табл. 1).

Окремо варто зазначити біофумігаційний потенціал редьки олійної, з огляду на основний критерій цього показника – уміст глюкозинолатів. Спираючись на тривалі оцінки різних видів хрестоцвітих сидератів [16, с. 7–10], редьку олійну із середньобагаторічним виходом глюкозинолатів у 76,0 моль/га (з досяжним максимумом в окремі роки 93,7 моль/га) за весняного та 75,5 моль/га за літнього строку сівби (з досяжним максимумом в окремі роки 101,9 моль/га) варто віднести до сидераційних хрестоцвітих видів, придатних до ефективного застосування в різних варіантах біофумігації ґрунту, як у суто видовому, так і в сумішевому варіантах. З позиції біохімічних

критеріїв сидеральне застосування редьки олійної на ґрунтах із низьким і середнім рівнями ґрунтової родючості є технологічно доцільним і доведеним, а визначені фенологічні інтервали оптимальності такого застосування дозволяють використовувати редьку олійну в широкому спектрі розміщення ві сівозміні з близькою ефективністю як за літніх (проміжних), так і за весняних (основних) строків сівби та подальшого сидерального її застосування.

Варто зауважити, що біохімічна цінність листостеблової та кореневої біомаси редьки олійної як сидерату мала складний регресійний характер формування залежно від гідротермічних параметрів періоду вегетації. Ці залежності у зведеному варіанті для обох строків сівби представлено в таблиці 5. З огляду на представлені результати аналізу оптимальність біохімічного складу сидеральної маси редьки олійної має як схожі особливості формування, так і окремі відмінності для наземної та кореневої біомаси рослини. Так, щодо листостеблової маси оптимізація показників ЯРР та C/N, які по суті є визначальними у якісних процесах розкладення маси у ґрунті, отже, і позитивний вплив на подальші аспекти впливу на нагромадження біоорганічних і агрохімічних компонентів розкладу для поповнення балансу елементів живлення або ж безпосередньо забезпечення вищого ступеня їхньої доступності рослинам, які будуть розмішені після сидерації, визначено оптимальність цього показника у варіанті помірного температурного забезпечення на фоні помірного зволоження.

Таблиця 5. Множинна регресійна залежність основних показників сидеральної якості біомаси рослин редьки олійної від гідротермічних складників періоду її вегетації до сидерального застосування (для зведеного масиву даних строки сівби – роки, повторення (N=88), 2014–2024 рр.)

Показник*	Вираз залежності	Параметри рівняння		Статистична оцінка компонентів				
		x	y	Множинний R	Множинний R ² (adj.)	F	df1, df2	p
Листостеблова (наземна) біомаса								
ЯРР	91,511–0,00997x –0,4874y	Сума опадів, мм	Середньодобова температура, °C	0,865	0,721	26,89	2,17	<0,001
C/N	23,48574–0,0173x –0,41259y			0,774	0,557	12,67	2,17	<0,001
СК	21,112–0,0144x –0,18451y			0,855	0,702	22,37	2,17	<0,001
ГКЗ	12,145–0,0133x + 0,1539y			0,792	0,601	14,23	2,17	<0,001
ЯРР	85,338–1,39654x + 9,452y	I _п	K ₃	0,712	0,527	9,52	2,17	<0,05
C/N	18,223–2,023x + 12,187y			0,817	0,702	20,77	2,17	<0,001
СК	24,102–0,0956x –0,6852y			0,791	0,604	14,71	2,17	<0,001
ГКЗ	14,991–0,0062x –1,1102y			0,749	0,584	17,12	2,17	<0,001
Коренева біомаса								
C/N	58,155–0,164x –0,459y	Сума опадів, мм	Середньодобова температура, °C	0,708	0,611	7,17	2,19	<0,01
C/P	101,223–0,096x –0,287y			0,659	0,512	3,51	2,19	<0,05
C/S	50,847–0,0841x + 0,603y			0,774	0,658	8,12	2,19	<0,01
Л/N	24,552–0,161x –0,657y			0,757	0,644	8,92	2,19	<0,01
Л/P	38,550 + 0,0211x –0,241y			0,581	0,419	2,78	2,19	<0,05
ГКЗ	18,772–0,051x + 0,141y			0,705	0,561	4,15	2,19	<0,01
C/N	25,754 + 0,025x – 0,094y	I _п	K ₃	0,654	0,511	3,02	2,19	<0,05
C/P	92,612 – 0,049x + 0,674y			0,703	0,584	6,88	2,19	<0,01
C/S	47,392 – 0,028x + 0,307y			0,710	0,607	7,59	2,19	<0,01
Л/N	6,102–0,084x –0,127y			0,613	0,522	4,61	2,19	<0,01
Л/P	21,452–0,125x + 0,603y			0,607	0,498	3,12	2,19	<0,05
ГКЗ	18,654–0,009x + 0,249y			0,647	0,501	4,09	2,19	<0,01

Примітка: * аббревіатура показників відповідно до даних таблиці 4.

Надмірна кількість опадів, понад 300 мм, за період до сидерального використання на фоні інтенсивного наростання температур зміщує процес формування рослин у бік зниження вмісту клітковини та лігнізації, формування вищих рівнів облистяності. Це формує передумови для зростання вмісту сирого протеїну та загального азоту, що на фоні більш сталого вмісту органічного вуглецю в редьки олійної суттєво знижує співвідношення C/N, проте сприяє росту показника ЯРР за критерієм зростання швидкості ґрунтової утилізації рослинних решток.

Зростання температури та загальної аридизації періоду вегетації редьки олійної формує потенційно високі передумови до зростання загальної зольності як листостеблової, так і кореневої біомаси, що сприяє зростанню вмісту основних елементів. З іншого боку, такі температурні умови, особливо на фоні зниження загальної кількості опадів та у варіанті літнього строку сівби, формують сталі процеси швидкого фенологічного розвитку рослин. Це сприяє швидкому фізіологічному старінню наземної біомаси, на відміну від кореневої біомаси (що зазначено в [14, с. 40–41]). З урахуванням указанного швидкого зростання співвідношення C/N в інтервалі фенологічного

розвитку від фази бутонізації до фази зеленого стручка, це зумовлює звуження інтервалу оптимального фенологічного сидерального застосування редьки олійної у варіанті літнього строку сівби та, відповідно, осінньої сидерації, на відміну від аналогічного варіанту весняного строку сівби та літнього періоду власне сидерації.

Доведено також позитивний вплив аридизації умов вегетації на ріст вмісту глюкозинолатів як у листостебловій, так і в кореневій біомасі рослин, що, незважаючи на істотно нижчий рівень загальної біопродуктивності рослин (табл. 2), забезпечує еквівалентні рівні біофумігаційної потенційної продуктивності за загальним виходом глюкозинолатів з га у зіставленні різних строків сівби сидератів. Основним лімітуючим фактором реалізації сидераційного потенціалу для редьки олійної буде рівень опадів за період вегетації у варіанті обох строків сівби. Оптимумом показника, виходячи з отриманих рівнянь регресійних залежностей, буде показник в інтервалі від 225 до 300 мм за період від сходів до прямого сидерального використання редьки олійної на фоні середньодобової температури у значенні не вище за 17 °С. Із цього погляду літній строк сидерального використання редьки олійної має більше технологічних ризиків в умовах нестійкого зволоження зони Правобережного Лісостепу, ніж весняний. У зв'язку із цим для проміжного (літнього) вирощування редьки олійної під неозимі культури в сівозміні допустима агротехнологічна можливість зміщення строків на більш пізні, серпнево-ранньовесневі, з огляду на багаторічну статистику розподілу опадів у регіоні вирощування.

Результативність сидерації за обох строків сівби сидерату, з позиції рівня забур'яненості агроценозів наступних культур та рівня їхньої врожайності, представлена в таблиці 6. За результатами багаторічного оцінювання, застосування як варіанту весняного строку вирощування сидерату редьки олійної, так і літнього строку мало тривалий позитивний ефект на зниження кількісного та вагового рівнів забур'яненості наступних після сидерації в сівозміні сільськогосподарських культур, забезпечувало статистично істотні прирости врожайності в зіставленні з контрольним варіантом (без сидерації). Ефективність різних строків сидерації за обома окресленими факторами контролю мала відмінності. Так, у варіанті весняного строку вирощування сидерату, відповідно, проведення сидерації в червні, під відповідні сільськогосподарські культури, середньобагаторічний ефект зменшення кількості бур'янів був на рівні 27,8%, а зниження маси бур'янів – 31,1%. Для варіанту літнього строку сівби редьки олійної та сидерального її використання в жовтні вказані показники були на рівні 48,4 та 49,4% відповідно. Ефективність обох варіантів сидерації була в середньому на 5,7% вищою за обох строків сівби сидерату в разі застосування сидерації під класичні просапні культури, як-от кукурудза на зерно, соняшник, сорго зернове, на відміну від сільськогосподарських культур суцільного строку сівби.

Таблиця 6. Вплив застосування проміжної сидерації редькою олійною на рівень забур'яненості та рівень урожайності наступних сільськогосподарських культур у сівозміні (на дату до застосування гербіцидів), 2014–2023 рр.

Варіант	Одиниці обліку*	Наступні культури після сидерації										
		2014 р.	2015 р.	2016 р.	2017 р.	2018 р.	2019 р.	2020 р.	2021 р.	2022 р.	2023 р.	2024 р.
		Сорго зернове	Ярий ячмінь	Горох	Кукурудза	Соя	Яра пшениця	Соняшник	Соя	Нут	Кукурудза	
Весняний строк сівби сидерату (літній строк власне сидерації)												
Контроль	1	31,4	36,2	24,8	33,9	20,8	31,4	25,9	22,8	30,7	29,7	28,4
	2	477,9	509,8	412,7	544,9	358,7	478,9	445,3	259,7	478,9	405,8	338,7
Сидерація	1	19,9	31,4	22,1	24,8	17,7	25,9	20,9	19,1	21,2	23,4	20,9
	2	208,9	491,2	297,3	371,4	254,5	435,4	307,2	284,8	332,1	329,8	281,7
<i>НІР₀₅, шт./м²</i>		3,5	2,5	3,1	5,2	3,8	4,5	3,3	4,9	3,9	3,1	2,5
<i>НІР₀₅, г/м²</i>		39,8	29,7	26,7	44,1	42,7	48,4	34,5	32,7	30,8	48,7	39,9
Літній строк сівби сидерату (осінній строк власне сидерації)												
Контроль	1	28,5	35,5	25,3	35,8	19,5	29,8	27,2	21,5	29,3	28,8	26,2
	2	494,5	545,5	408,9	556,9	369,8	465,8	424,9	275,4	494,2	421,7	354,7
Сидерація	1	15,2	27,5	17,3	20,5	12,9	21,7	20,8	18,3	17,1	19,5	16,3
	2	179,3	485,3	254,7	330,4	201,9	390,2	319,8	249,6	288,2	290,3	232,1
<i>НІР₀₅, шт./м²</i>		3,4	2,7	3,5	4,7	4,1	4,8	3,1	5,2	4,4	3,5	2,9
<i>НІР₀₅, г/м²</i>		47,8	34,5	31,8	50,2	49,3	56,2	40,8	41,9	39,7	60,1	49,8
Урожайність, т/га												
Контроль		2,69	2,83	1,82	6,47	2,99	3,07	3,14	2,98	1,46	7,05	5,99
Сидерація	в**	3,19	2,12	6,97	3,35	3,34	3,49	3,21	1,68	7,42	6,31	6,31
	л	3,41	2,29	7,14	3,61	3,55	3,78	3,49	1,89	7,74	6,62	6,52
<i>НІР₀₅, т/га</i>		0,11	0,18	0,09	0,11	0,12	0,14	0,10	0,12	0,09	0,14	0,17

Примітка: *1 – шт./м²; 2 – г/м²; **в – весняний строк сівби сидерату; л – літній строк сівби сидерату.

Такі результати позитивно узгоджуються з визначеним алелопатичним і гербоконтролюючим потенціалом редьки олійної на підставі попередніх досліджень [27, с. 665–670], а також позитивно узгоджуються з узагальненими висновками щодо позитивного ефекту до зниження рівня сегетальної рясності за поєднання агроценотичного впливу основної культури із проміжною сидерацією [5, с. 128–131; 11, с. 183–196], що суттєво поліпшує антисегетальну спрямованість технологій саме літнього (проміжного) строку сидерації.

Зазначено також істотність відмінностей різних строків сидерального використання редьки олійної і з позиції рівнів урожайності культур за період досліджень, під які було застосовано сидеральне використання редьки олійної. Так, за загального приросту до контролю ефекту застосування сидерації для обох строків середньобогаторічний приріст урожаю за варіанту весняного строку сівби сидератів становив 10,6%, 18,8% за варіанту літнього строку сівби сидерату. Середній приріст урожаю для зернових і зернобобових культур, які за оцінками [29, с. 94–97], більш позитивно реагують на біоорганічні системи удобрення, зокрема й сидерацію, становив 12,1% за весняного строку сівби сидерату, відповідно, червневої сидерації, та 21,5% за літнього строку сівби сидерату і, відповідно, жовтневого строку сидерації. Для групи просапних культур цей показник становив 8,7 та 15,4% відповідно. Такі результати позитивно узгоджуються з низкою оцінок [21, с. 3–4; 31, с. 109–112], відповідно до яких ефективність імплементації сидеральної маси ґрунтом визначається її біохімічним складом і, у разі відносно швидких темпів розкладу останньої, позитивний ефект є більш відчутним за меншим інтервалом між датою загорання сидерату у ґрунт і датою початку інтенсивних ростових процесів відповідної наступної культури, під яку практикувалась сидерація. З огляду на детальний аналіз біохімічного складу загальної сидеральної маси редьки олійної, варіант осіннього її загорання у ґрунт створює позитивні передумови для уповільнення процесу розкладу та формування позитивних процесів збереження вивільнених компонентів, які більш ефективно можуть бути використані для ґрунтового живлення наступної культури в сівозміні.

Висновки. Отже, на підставі узагальнення результатів тривалого циклу досліджень можна сформулювати такі концептуальні принципи використання редьки олійної як сидерату в системі біоорганічних і ґрунтозновальних технологій вирощування сільськогосподарських культур, за дотримання відповідної схеми їх чергування в сівозміні:

– редьку олійну варто віднести до сидеральних культур з високим адаптивним і продуктивним потенціалом за вирощування в сидеральних агрофітоценозах, яка здатна на ґрунтах із невисоким рівнем ґрунтової родючості на неодобреному фоні, в умовах нестійкого зволоження, за 50–60 діб вегетації формувати загальний біопродуктивний потенціал у сухій речовині на рівні до 5 т/га за весняного та до 4 т/га за літнього строку сівби;

– проведене біохімічне оцінювання її як сидерату дозволяє віднести її до високобілкових культур (уміст сирого протеїну – понад 15% на абсолютно суху речовину) з високим вмістом жиру (уміст – понад 3,0% на абсолютно суху речовину) і високим вмістом целюлозопохідних компонентів (понад 30% у сукупності для листостеблової та кореневої біомаси на абсолютно суху речовину). За характером основних співвідношень, які визначають динаміку її мінералізації та імплементації вивільнених речовин ґрунтом, редька олійна демонструє подібність до таких поширених сидеральних хрестоцвітих видів, як гірчиця біла, ріпак ярий та інші, а також їхні переваги. Це дозволяє рекомендувати її для вирощування в широкому діапазоні проміжних варіантів сівби та формування кормових сидеральних і сидерально-біоенергетичних агроценозів у зонах нестійкого зволоження;

– доведено високий агрохімічний потенціал і удобрювальну цінність редьки олійної як у варіантах літнього, так і у варіантах осіннього, безпосереднього сидерального використання завдяки еквівалентному зіставленню акумуляції в її масі елементів живлення за досяжного рівня удобрювальної цінності у значенні 15–23 т/га класичного гною ВРХ, за весняного та 17–22 т/га за літнього строку сівби сидерату;

– визначено супутній сидераційному, високий біофумігаційний потенціал редьки олійної як за весняного, так і за літнього строку сівби її як сидеральної культури, з досяжним потенціалом за виходом глюкозинолатів від сидерації загальної біомаси рослин на одиниці площі на рівні 76,0 моль/га (з досяжним максимумом в окремі роки в 93,7 моль/га) за весняного та 75,5 моль/га (з досяжним максимумом в окремі роки у 101,9 моль/га) за літнього строку сівби;

– встановлено оптимум формування сидераційного потенціалу редьки олійної як у варіанті основної польозаймаючої культури, так і у варіанті проміжного (літнього) розміщення, за суми опадів від 225 до 300 мм за період від сходів до прямого сидерального використання редьки олійної на фоні середньодобової температури за цей же період не вище ніж 17 °С. Це дозволяє, у зв'язку із кліматичними змінами Лісостепу України та толерантністю культури до строків сівби, рекомендувати як можливий варіант зміщення строків її сидерального вирощування на серпень-вересень із загоранням сидеральної маси у листопаді, або ж залишенням її без заробляння у варіанті підзимньої зеленої мурчі;

– у плануванні періодичності сидерації в сівозміні насамперед планувати цей захід на полях із високим рівнем забур'яненості під культури зернової та зернобобової груп, де приріст урожайності був вищим у середньому на 4% та 6% порівняно із сидерацією під просапну групу культур, відповідно за весняного та літнього строку сівби редьки олійної як сидерату.

Дотримання вказаних концептуальних агротехнологічних підходів дозволить суттєво покращити загальні агротехнологічні рішення щодо сидераційних технологій вирощування основних сільськогосподарських культур за використання редьки олійної як одновидового різнострокового сидерату.

Список використаних джерел

1. Балюк С.А., Кучер А.В., Максименко Н.В. Ґрунтові ресурси України: стан, проблеми і стратегія сталого управління. *Український географічний журнал*. 2021. № 3 (114). С. 3–11.
2. Балюк С.А., Медведєв В.В., Трускавецький Р.С., Мірошніченко М.М., Кучер А.В., Момот А.Ф. Наукове забезпечення управління ґрунтовими ресурсами в контексті євроінтеграційних процесів. *Посібник українського хлібороба: науково-практичний посібник*. 2017. Т. 1. С. 54–62.
3. Глущенко М.К., Крупко Г.Д. Особливості застосування сидерації та роль зелених добрив у підвищенні родючості ґрунтів. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. 2016. № 3 (75). С. 173–178.
4. Динамічні процеси розвитку органічного виробництва в Україні / І.В. Гончарук та ін. Вінниця : ТОВ «ТВОРИ», 2020. 478 с.
5. Грановська Л.М., Резніченко Н.Д., Рой С.С. Забур'яненість посівів сої (glycine max) за різних систем основного обробітку ґрунту та сидерації. *Агроекологічний журнал*. 2023. № 1. С. 127–135.
6. Методика державного сортовипробування сільськогосподарських структур. Вип. 1 : Загальна частина / ред. : В.В. Волкодав ; Держ. коміс. України з випробування та охорони сортів рослин. Київ, 2000. 100 с.
7. Панченко А.Н. Теорія подрібнення ґрунту ґрунтообробними робочими органами. Дніпропетровськ, 1999. 139 р.
8. Писаренко В.В., Писаренко П.В., Писаренко В.М. Еколого-економічна ефективність використання сидератів. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2012. № 3. С. 122–126.
9. Польовий В.М. Оптимізація систем удобрення в сучасному землеробстві : монографія. Рівне : Волинські обереги, 2007. 320 с.
10. Сайко В.Ф. Особливості проведення досліджень із хрестоцвітими олійними культурами. Київ : Інститут землеробства НААН, 2011. 76 с.
11. Цицюра Я.Г., Неїлик М.М., Дідур І.М., Поліщук М.І. Сидерація як базова складова біологізації сучасних систем землеробства : монографія. Вінниця : ТОВ «Друк», 2022. 770 с.
12. Цицюра Я.Г., Цицюра Т.В. Редька олійна. Стратегія використання та вирощування : монографія. Вінниця : ТОВ «Нілан ЛТД», 2015. 624 с.
13. Шувар І.А. Сидерати в сучасному землеробстві. Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2015. 156 с.
14. Bláha L. Importance of Root-Shoot Ratio for Crops Production: A Review. *Current Topics in Agricultural Sciences*. 2021. Vol. 1. P. 37–49.
15. Bublitz T.A., Kemper R., Müller P., Kautz T., Döring T.F., Athmann M. Relating Profile Wall Root-Length Density Estimates to Monolith Root-Length Density Measurements of Cover Crops. *Agronomy*. 2022. Vol. 12. P. 48.
16. Duff J., van Sprang C., O'Halloran J., Hall Z. Guide to Brassica Biofumigant Cover Crops Managing soilborne diseases in vegetable production systems. Horticulture Innovation through VG16068 Optimising cover cropping for the Australian vegetable industry. State of Queensland. Department of Agriculture and Fisheries. 2020. 40 p.
17. European Commission (2021). EU Soil Strategy for 2030: Reaping the benefits of healthy soils for people, food, nature and climate. Brussels. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0699> (дата звернення: 18.06.2025).
18. 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.
19. Jia Q., Zheng H., Shi Z., Liu X., Sun D., Zhang J. Effects of Straw and Green Manure Addition on Crop Yield, Soil Properties and CH₄ Emissions : A Meta-Analysis. *Agronomy*. 2024. № 14 (11). 2724 h.
20. Hansen V., Eriksen J., Jensen L.S. Towards integrated cover crop management: N, P and S release from aboveground and belowground residues. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2021. 313 p.
21. Liang K., Wang X., Du Y., Li G., Wei Y., Liu Y., Li Z., Wei X. Effect of Legume Green Manure on Yield Increases of Three Major Crops in China : A Meta-Analysis. *Agronomy*. 2022. Vol. 12. 1753 p.
22. Quemada M., Cabrera M.L. Carbon and nitrogen mineralization from leaves and stems of 4 cover crops. *Soil Science Society of America Journal*. 1995. Vol. 59. P. 471–477.
23. Talgre L. Biomass production of different green manure crops and their effect on the succeeding crops yield : A Thesis for applying for the degree of Doctor of Philosophy in Plant Production. Tartu : Estonian University of Life Sciences, 2013. 164 p.
24. 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. Iss. 7. P. 265–285.
25. Tsytsiura Y. Estimation of biomethane yield from silage fermented biomass of oilseed radish (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.) for different sowing and harvesting dates. *Agronomy Research*. 2023. Vol. 21. № 2. P. 940–978.
26. Tsytsiura 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.
27. Tsytsiura Y. Assessment of peculiarities of weed formation in oilseed radish agrophytocoenosis using different technological models. *Chilean Journal of agricultural research*. October – december 2020. № 80 (4). P. 661–674.
28. Undersander D., Mertens D.R., Thiex N. Forage analyses. Procedures. National Forage Testing Association, 1993. 139 p.
29. Valkama E., Lemola R., Känkänen H., Turtola E. Meta-analysis of the effects of undersown catch crops on nitrogen leaching loss and grain yields in the Nordic countries. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2015. Vol. 203. P. 93–101.
30. Wong J. Handbook of statistical analysis and data mining applications. Cambridge : Academic Press, 2018. 589 p.
31. Yao Z., Zhang D., Liu N., Yao P., Zhao N., Li Y., Zhang S., Zhai B., Huang D., Wang Z. Dynamics and Sequestration Potential of Soil Organic Carbon and Total Nitrogen Stocks of Leguminous Green Manure-Based Cropping Systems on the Loess Plateau of China. *Soil Tillage Research*. 2019. Vol. 191. P. 108–116.

Tsytsyura Y. G.

*Candidate of Agricultural Sciences,
Associate Professor at the Department of Agriculture, Soil Science and Agrochemistry,
Vinnytsia National Agrarian University
Vinnytsia, Ukraine*

E-mail: yaroslavtsytsyura@ukr.net

ORCID: 0000-0002-9167-833X

CONCEPT OF USING OIL RADISH AS GREEN MANURE UNDER DIFFERENT APPLICATION PERIODS BASED ON A MULTI-YEAR STUDY CYCLE

Abstract

The system of bio-organic technologies and fertilization systems for agricultural crops has been updated based on the use of green manures. The advantages of green manure fertilization systems are outlined in terms of overall efficiency, positive effects on soil fertility conditions, their potential, and prospects. Over a long research period (2014–2024), the effectiveness of using oil radish as a green manure crop was evaluated under two application timeframes: a spring sowing with direct use of the formed biomass as green manure in June, and a summer (intermediate) sowing with direct use of the total green mass of the plants in October.

The study examined the specifics of the formation of the green manure's bioproductive and fertilizing (biochemical) potential of the above-ground leafy-stem and root biomass of oil radish plants. A wide range of recommended and tested methodologies was applied to assess the yield levels of leafy-stem and root biomass, its complete biochemical composition, and categorical ratios to evaluate the potential and dynamics of its mineralization in soil, predict the effects on soil properties and the yield of subsequent crops, as well as the crop's allelopathic and biofumigation potential, considering oil radish belongs to the cruciferous plant family.

The analysis of results was carried out using a combined correlation-regression assessment with the hydrothermal conditions of the oil radish vegetation period for both sowing dates. This involved analyzing both basic indicators (total precipitation and average daily temperature) and analytical coefficients (HTC – hydrothermal coefficient, drought index, and moisture index). Based on the summarized results, conceptual provisions were formulated for the effective use of oil radish in a system of green manuring at different timings, aiming for the most efficient and maximum realization of its green manure potential and the yield potential of agricultural crops grown in multi-year rotations with oil radish.

Key words: application concept, green manure potential, plant bioproductivity, green manure timing, biofumigation, fertilizing value.

References

- Baliuk, S.A., Medvediev, V.V., Miroshnychenko, M.M., Skrylnyk, Ye.V., Tymchenko, D.O., Fatieiev, A.I., Khrystenko, A.O., & Tsapko, Yu.L. (2012). Ekolohichniy stan gruntiv Ukrainy [Ecological condition of Ukrainian soils]. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal – Ukrainian Geographical Journal*. № 2. S. 38–42 [in Ukrainian].
- Baliuk, S.A., Kucher, A.V., & Maksymenko, N.V. (2021). Gruntovi resursy Ukrainy: stan, problemy i stratehiia staloho upravlinnia [Soil resources of Ukraine: state, problems and strategy of sustainable management]. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal – Ukrainian Geographical Journal*. № 3(114). S. 3–11 [in Ukrainian].
- Hlushchenko, M.K., & Krupko, H.D. (2016). Osoblyvosti zastosuvannya syderatsii ta rol zelenykh dobryv u pidvyschenni rodiuchosti gruntiv [Peculiarities of green manure application and the role of green fertilisers in increasing soil fertility]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannya – Bulletin of the National University of Water and Environmental Engineering*. 3 (75). pp. 173–178 [in Ukrainian].
- Honcharuk, I.V., Kovalchuk, S.Ia., Tsytsiura, Ya.H., & Lutkovska, S.M. (2020). *Dynamichni protsesy rozvytku orhanichnoho vyrobnytstva v Ukraini [Dynamic processes of organic production development in Ukraine]*. Vinnytsia: TOV “TVORY”, 478 s. [in Ukrainian].
- Hranovska, L.M., Reznichenko, N.D., Ro,i S.S. (2023). Zaburianenist posiviv soi (glycine max) za riznykh system osnovnoho obrobitku gruntu ta syderatsii [Weed infestation of soybean (Glycine max) crops under different systems of basic tillage and green manure]. *Ahroekolohichniy zhurnal*. 2023. № 1. S. 127–135 [in Ukrainian].
- Metodyka derzhavnoho sortovyprobuvannya silskohospodarskykh kultur [Methodology of state variety testing of agricultural crops] (2000). Vyp. 1. Zahalna chastyna / red.: V.V. Volkodav; Derzh. komis. Ukrainy po vyprobuvanni ta okhoroni sortiv roslyn. Kyiv. 100 s. [in Ukrainian].
- Panchenko, A.N. (1999). *Teoriia podribnennia gruntu gruntoobrobnymy robochymy orhanamy [The theory of soil crumbling by tillage tools]*. Dnipropetrovsk. 139 s. [in Ukrainian].
- Pysarenko, V.V., Pysarenko, P.V., & Pysarenko, V.M. (2012). Ekoloho-ekonomichna efektyvnist vykorystannia syderativ [Ecological and economic efficiency of green manure use]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*. № 3. S. 122–126 [in Ukrainian].
- Polovy, V.M. (2007). *Optyimizatsiia system udobrennia v suchasnomu zemlerobstvi: monohrafiia [Optimising fertiliser systems in modern farming]*. Rivne: Volynski oberehy, 320 s. [in Ukrainian].
- Saiko, V.F. (2011). *Osoblyvosti provedennia doslidzhen z khrestotsvitymy oliinymy kulturamy [Features of research with cruciferous oilseeds]*. Kyiv: Instytut zemlerobstva NAAN, 76 p. [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 biologization of modern farming systems. Monograph]*. Vinnytsia: TOV “Druk”, 2022. 770 s. [in Ukrainian].
- Tsytsiura, Ya.H., & Tsytsiura, T.V. (2015). *Redka oliina. Stratehiia vykorystannia ta vyroshchuvannya: monohrafiia [Oilseed radish. Strategy of use and cultivation: a monograph]*. Vinnytsia: TOV “Nilan LTD”, 624 s. [in Ukrainian].

13. Shuvar, I.A. (2015). *Syderaty v suchasnomu zemlerobstvi [Green manure in modern farming]*. Ivano-Frankivsk: Symfoniia forte, 156 p. [in Ukrainian]
14. Bláha, L. (2021). Importance of Root-Shoot Ratio for Crops Production: A Review. *Current Topics in Agricultural Sciences*. Vol. 1. pp. 37–49 [in English].
15. Bublitz, T.A., Kemper, R., Müller, P., Kautz, T., Döring, T.F., & Athmann, M. (2022). Relating Profile Wall Root-Length Density Estimates to Monolith Root-Length Density Measurements of Cover Crops. *Agronomy*. Vol. 12. 48 [in English].
16. Duff, J., van Sprang, C., O'Halloran, J., & Hall, Z. (2020). *Guide to Brassica Biofumigant Cover Crops Managing soilborne diseases in vegetable production systems*. Horticulture Innovation through VG16068 Optimising cover cropping for the Australian vegetable industry. State of Queensland. Department of Agriculture and Fisheries. 40 p. [in English].
17. European Commission (2021). EU Soil Strategy for 2030: Reaping the benefits of healthy soils for people, food, nature and climate. Brussels. Retrieved from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0699> (date of application 18.06.2025).
18. Fanish, S.A. (2017). Impact of Green Manure Incorporation on Soil Properties and Crop Growth Environment: A Review. *World Journal of Agricultural Sciences*. Vol. 13 (3). pp. 122–132 [in English].
19. Jia, Q., Zheng, H., Shi, Z., Liu, X., Sun, D., & Zhang, J. (2024). Effects of Straw and Green Manure Addition on Crop Yield, Soil Properties and CH₄ Emissions: A Meta-Analysis. *Agronomy*. Vol. 14. № 11. 2724 [in English].
20. Hansen, V., Eriksen, J., & Jensen, L.S. (2021). Towards integrated cover crop management: N, P and S release from aboveground and belowground residues. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 313 [in English].
21. Liang, K., Wang, X., Du, Y., Li, G., Wei, Y., Liu, Y., Li, Z., & Wei, X. (2022). Effect of Legume Green Manure on Yield Increases of Three Major Crops in China: A Meta-Analysis. *Agronomy*. Vol. 12. 1753 [in English].
22. Quemada, M., & Cabrera, M.L. (1995). Carbon and nitrogen mineralized from leaves and stems of 4 cover crops. *Soil Science Society of America Journal*. Vol. 59. pp. 471–477 [in English].
23. Talgre, L. (2013). Biomass production of different green manure crops and their effect on the succeeding crops yield. A Thesis for applying for the degree of Doctor of Philosophy in Plant Production. Tartu. Estonian University of Life Sciences. 164 p. [in English].
24. 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*. Vol. 25. Iss. 7. pp. 265–285 [in English].
25. Tsytsiura, Y. (2023). Estimation of biomethane yield from silage fermented biomass of oilseed radish (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.) for different sowing and harvesting dates. *Agronomy Research*. Vol. 21. № 2. pp. 940–978 [in English].
26. Tsytsiura, Y. (2024). Potential of oilseed radish (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.) as a multi-service cover crop (MSCC). *Agronomy Research*. Vol. 22. № 2. pp. 1026–1070 [in English].
27. Tsytsiura, Y. (2020). Assessment of peculiarities of weed formation in oilseed radish agrophytocoenosis using different technological models. *Chilean Journal of agricultural research*. October–December. Vol. 80. № 4. pp. 661–674 [in English].
28. Undersander, D., Mertens, D.R., & Thix, N. (1993). *Forage analyses*. Procedures. National Forage Testing Association. 139 p. [in English].
29. Valkama, E., Lemola, R., Känkänen, H., & Turtola, E. (2015). Meta-analysis of the effects of undersown catch crops on nitrogen leaching loss and grain yields in the Nordic countries. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Vol. 203. pp. 93–101 [in English].
30. Wong, J. (2018). *Handbook of Statistical Analysis and Data Mining Applications (Second Edition)*. Academic Press. 589 p. [in English].
31. Yao, Z., Zhang, D., Liu, N., Yao, P., Zhao, N., Li, Y., Zhang, S., Zhai, B., Huang, D., & Wang, Z. (2019). Dynamics and Sequestration Potential of Soil Organic Carbon and Total Nitrogen Stocks of Leguminous Green Manure-Based Cropping Systems on the Loess Plateau of China. *Soil Tillage Research*. Vol. 191. pp. 108–116 [in English].

Отримано: 23.06.2025

Рекомендовано: 28.07.2025

Опубліковано: 29.08.2025