

УДК 635.15:631.5

DOI: 10.37128/2707-5826-2024-2-1

**РОЛЬ ГІДРОТЕРМІЧНОГО РЕЖИМУ
ВЕГЕТАЦІЇ У ФОРМУВАННІ ЯКІСНИХ
ПОКАЗНИКІВ БІОМАСИ РЕДЬКИ
ОЛІЙНОЇ У СИСТЕМІ
БАГАТОПРОФІЛЬНОГО ЇЇ
ВИКОРИСТАННЯ**

Я.Г. ЦИЦЮРА, кандидат с.-г.
наук, доцент
Вінницький національний
аграрний університет

За десятирічний цикл польового і лабораторного вивчення досліджено повний біохімічний склад надземної листостеблової маси редьки олійної за базовими і похідними показниками. Оцінка містила додатковий спектр співвідношень, які враховуються у системі багатoproфільної оцінки покривних культур з можливістю одночасного їхнього залучення до варіантів біоорганічного удобрення, ґрунтовідновлення, як сировини для біогазу й варіантів біофумігаційного характеру. Визначено рівні міжрідної мінливості основних параметрів біохімічного складу з деталізацією середньобагаторічного біохімічного профілю листостеблової маси редьки олійної, а також проведено співставлення отриманих значень з аналогічними показниками широкоживаних хрестоцвітих видів, які традиційно використовуються у системі біоорганічного і ґрунтореабілітуючого застосування.

Проаналізовано, на підставі оцінки гідротермічного режиму різнострокових посівів редьки олійної весняного і літнього варіантів, можливість використання редьки олійної у варіантах проміжного насичення сівозмін з наступним її використанням на сидерацію та сидерально-кормові й сировинно-біогазові цілі. Визначено загальну стресостійкість і адаптивність цього виду до використання у варіантах різного строку сівки на фоні стресових (несприятливих) чинників довкілля. Проведено оцінку ролі гідротермічних умов періоду вегетації на формування біохімічних складових сформованої листостеблової маси з деталізацією залежностей на основі кореляційного аналізу, рівня середньої детермінації показника у системі парних одинарних залежностей, що дозволило у підсумку сформулювати прогностичні варіанти формування показника залежно від мінливості погодних умов, динаміки формування суми опадів і рівня середньодобових температур. Зроблено висновки щодо цінності редьки олійної до багатoproфільного використання на сірих лісових ґрунтах в умовах нестійкого зволоження, що дозволяє розробляти на підставі цього агротехнологічні рішення у сфері використання редьки олійної як основної, так і проміжної культури.

Ключові слова: редька олійна, сидерація, проміжні культури, біофумігація, рослинна біомаса.

Табл. 5. Рис. 1. Літ. 17.

Постановка проблеми. Сучасні тенденції адаптивного землеробства і рослинництва спрямовані на вирішення ключових проблем, пов'язаних з підвищенням рівня адекватної біопродуктивності сільськогосподарських культур, формуванням біоорганічних систем удобрення та забезпеченням умов ґрунтозбереження та ґрунтостворення [1]. Такий комплексний підхід гарантуватиме Україні успішну реалізацію цілей сталого розвитку на період до 2030 року й забезпечить відповідність поставленим завданням розвитку агропромислового комплексу з орієнтацією на європейський зелений курс (ЄЗК) [2]. Водночас ключова складова окреслених завдань передбачає пошук систем альтернативного удобрення, оскільки дефіцит класичних органічних добрив призводить до певного диспаритету у застосуванні оптимальних варіантів орґано-

мінерального удобрення, що негативно відображається на індексі екологізації удобрення, формуванні якісних показників продукції, досягненні оптимальних рівнів реалізації продуктивного потенціалу сільськогосподарських культур, балансі основних елементів живлення, і внаслідок призводить до негативних деградаційних процесів у ґрунтах [3].

Сама система біоорганічного удобрення на сьогодні передбачає широке коло різноманітних технологічних рішень від застосування системи проміжного рекреаційного залуження до різноманітних варіантів сидерації та мульчування [4]. Водночас сидерація розглядається у світовій практиці як один із важливих і навіть фундаментальних підходів, що дозволяє за відсутності класичного гною сформувати ефективну органо-мінеральну систему удобрення за різноманітних варіантів строкового її застосування [2]. Однак відслідковується факт [5], що сидеральні технології вимагають добору відповідних культур, які володіють комплексом відповідних критеріїв, що було сформовано у так звану комплексну систему мультикритеріїв покривних культур [1]. Складовою такої системи є біохімічний склад листостеблової маси сидератів, який визначає характер й інтенсивність розкладу біомаси сидератів у ґрунті, швидкість іммобілізації вивільнених компонентів, їхній вплив на ґрунтово-вбирний комплекс і мікробіологічний потенціал ґрунту [6]. Серед сидеральних культур, які застосовуються у світовій практиці агротехнологій нараховується близько двох десятків культур (рис. 1), які мають різні варіанти й різну інтенсивність використання, адаптовані до сидерації у конкретних ланках сівозмін, під конкретні

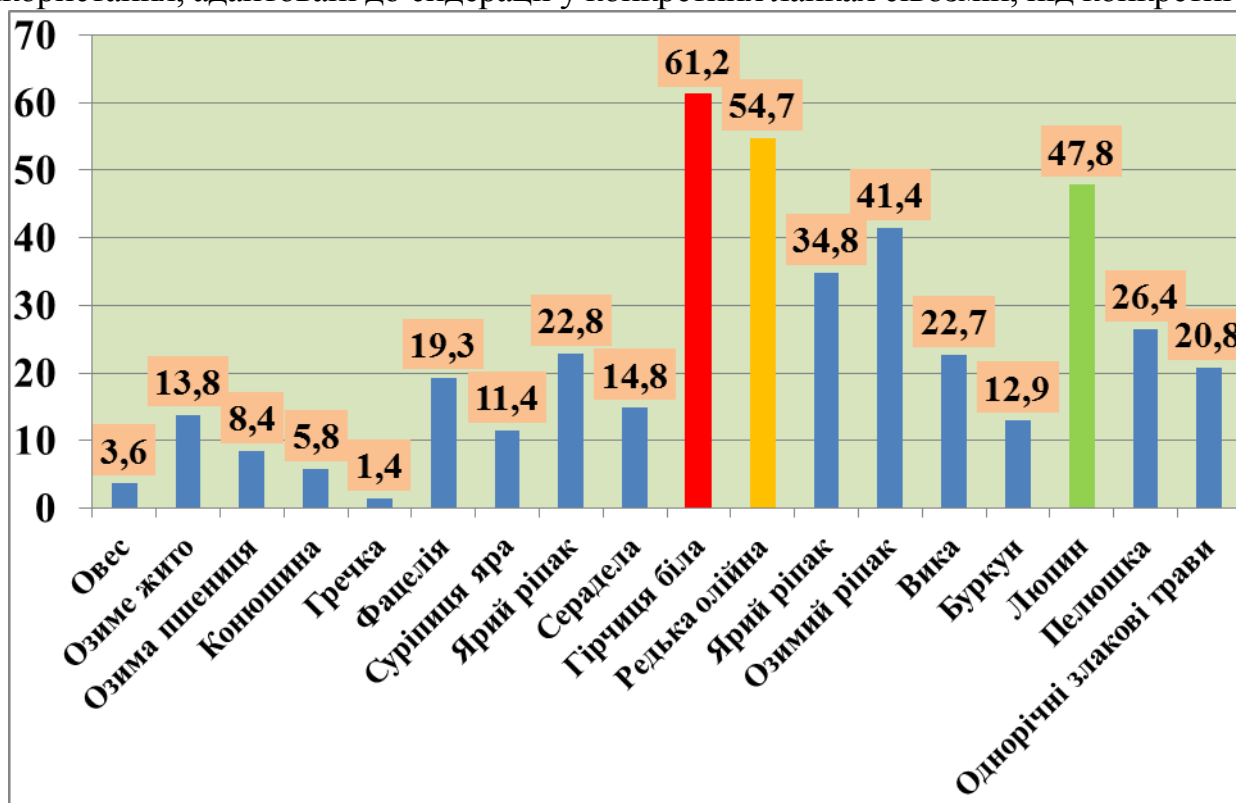


Рис. 1. Частота використання у практиці органічних технологій сидератів с.-г. культур, % (усереднені дані за період 1990–2023 рр.) [7].

культури на відповідних типах ґрунтового покриву з огляду на гідротермічні умови відповідних територій [7]. Звичайно, що за таких умов важливим і актуальним залишається оцінка конкретного сидерату для відповідних освоєних сільськогосподарських територій з огляду на мінливість біохімічного складу сидеральної маси й майбутні зміни у ефективності технологічного регламенту застосування сидерації [2]. Потрібно зауважити, що серед представленого асортименту сидеральних культур редька олійна є, з одного боку, культурою, яка довгий час використовується у різних варіантах сидерального удобрення, а з іншого – через досить тривалу її відсутність у рекомендованих схемах сидерації, – культурою, яка потребує додаткового вивчення з огляду на кліматичні зміни територій, зміну, а також диверсифікацію сівозмін і появу альтернативних варіантів насичення навіть сівозмін короткої ротації проміжними культурами багатоцільового використання [3].

З огляду на вищевикладені узагальнення, питання, поставлені на вивчення у наших дослідженнях, мають значну актуальність і спрямовані на вирішення важливого стратегічного завдання розробки адаптивних біоорганічних систем удобрення та ґрунтоутворення у межах виконання тематики з фінансуванням за кошти загального фонду державного бюджету «Розробка екологоорієнтованих технологій вирощування біоенергетичних культур для забезпечення енергонезалежності та ґрунтозбереження задля формування кліматичної нейтральності» (№ держреєстрації 0124U000483).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Система сидеральних технологій має досить тривалу історію вивчення на території України. На сьогодні визначено принципові технологічні схеми застосування основних сидеральних культур і їхніх сумішок дво- й багатокомпонентного характеру [2]. Сформовано також принципові агротехнологічні рішення щодо строків сіви, норм висіву, удобрення та способів заробки у ґрунт ряду поширених сидератів [3]. Узагальнено ряд особливостей розкладу сидеральної маси, формування її біохімічного складу й впливу окремих едафічних чинників, а також формування технологічності й агротехнологічної її цінності [5]. Водночас потрібно зауважити що редьку олійну з огляду на інтенсивність вивчення та практичне її застосування можна віднести до культур недостатньо вивчених [2, 6], але з високим перспективним потенціалом як у різних ґрунтово-кліматичних зонах, так і на різних типах ґрунтів [2]. Питання формування біохімічного потенціалу рослин редьки олійної активно вивчалось у період 1970–1990 років [6], проте нових актуалізованих даних надзвичайно мало, особливо з позиції встановлення закономірностей формування цього показника щодо гідротермічного режиму території. Це підкреслює актуальність проведених досліджень і його важливість для агротехнологічної практики правобережного Лісостепу України.

Умови і методика досліджень. Дослідження проводились впродовж 2014–2023 рр. на дослідному полі Вінницького національного аграрного університету (N 49°11'31", E 28°22'16".) на сірих лісових ґрунтах. Агрохімічний потенціал

дослідного поля: вміст гумусу 2,68 % легкогідролізованого азоту 81.5 мг/кг ґрунту, рухомого фосфору 176.1 мг/кг ґрунту, обмінного калію 110.8 мг/кг ґрунту, $pH_{\text{ксл}}$ 5.8.

Було використано сорт редьки олійної Журавка комбінованого використання (зелена маса – сидерація – насіння). Посів проводився на неудобреному фоні нормою висіву 2,5 млн схожих насінин/га звичайним рядковим способом (міжряддя 15 см). Вказаний варіант сівби відповідав варіанту кормово-сидерального використання редьки олійної. За єдиних параметрів передпосівного конструювання агроценозу, вивчались дві системи використання редьки олійної як проміжної культури для сидерального застосування.

I. Система ранньовесняної сівби після проміжного обробітку у форматі культивування на глибину 8–10 см із вирівнюванням (перша й друга декада квітня) на фоні зяблевої оранки на 20–22 см за дати фенологічного досягнення оптимальної фази багатоконпонентного використання біомаси редьки олійної (фаза цвітіння (ВВСН 64–67) на другу й третю декаду червня.

II. Система проміжного (літнього) використання за сівби відразу після збирання попередника з проміжним комбінованим обробітком ґрунту (плоскоріз + ротаційне розпушування із вирівнюванням) на глибину 12–14 см у другій чи третій декаді липня під час дати фенологічного досягнення оптимальної фази багатоконпонентного використання біомаси редьки олійної (фаза цвітіння (ВВСН 64–67) на другу чи третю декаду жовтня. Дослідні ділянки було сформовано у чотирьохразовій повторності методом дрібноділянкової рендомізації (загальна площа ділянки – 35 м², облікова площа ділянки – 25 м²). Супутні спостереження та обліки проводились відповідно до базових рекомендацій проведення досліджень із хрестоцвітими культурами [8].

Усі лабораторні хімічні аналізи проводилися з використанням відібраних зразків листостеблової маси на рубіжну дату її використання з визначенням базових компонентів біохімічного аналізу, виражених в абсолютно сухій вазі відповідно до стандартних методик з урахуванням європейських стандартів [9–10].

Аналіз погодних умов і рівня їхньої мінливості за період 2014–2023 рр. проводився на основі гідротермічного коефіцієнту (ГТК) відповідно до рівняння 1, індексу посушливості (I_n) відповідно до рівняння 2, коефіцієнту зволоження (K_z) відповідно до рівняння 3:

$$ГТК = \frac{\sum R}{0.1 \times \sum t_{>10}} \quad (1), \text{ де: } \sum R - \text{сума опадів (мм) за період з температурою}$$

вище 10 °C; $\sum t_{>10}$ – сума ефективних температур за той же період.

$$I_n = \frac{12P_{\text{оп}}}{T_{\text{сер.}} + 10} \quad (2), \text{ де } P_{\text{оп.}} \text{ і } T_{\text{сер.}} - \text{кількість опадів і середня температура}$$

повітря у відповідному місяці.

$$K_3 = \frac{P}{E} \quad (3), \text{ де: } K_n - \text{ коефіцієнт зволоження; } P - \text{ сума опадів за}$$

аналізований період, мм; E – випаровуваність за аналізований період (яку розраховували відповідно до рівняння 4), мм.

$E = 0,0018 \times (25 + t)^2 \times (100 - a)$, (4), де: E – випаровуваність рослин для певного періоду, мм; t – середня температура повітря за період °C; a – середня за аналізований період вологість повітря, %.

Узагальнююча оцінка гідротермічних режимів періоду вегетації редьки олійної у межах років досліджень представлена у таблиці 1. Враховуючи оптимальні параметри для ростових процесів рослин редьки олійної відповідно до наших попередніх багаторічних оцінок [12] роки досліджень було розміщено у порядку зростання сприятливості ростових процесів для умов весняного строку сівби: 2017–2015–2016–2018–2021–2022–2023–2014–2020–2019. Для умов літнього строку сівби аналогічний ряд був таким: 2015–2021–2019–2016–2023–2014–2020–2018–2017–2022.

Показники варіаційної статистики визначали за загальноприйнятою методикою розрахунку в статистичних програмах Statistica 10 (StatSoft – Dell Software Company, США). Для статистичної оцінки отриманих середніх величин застосовано такі показники: середнє арифметичне, стандартне відхилення (SD) і коефіцієнт варіації (C_V). Крім того, для всього масиву даних було проведено кореляційний аналіз Спірмена й дисперсійний аналіз за стандартною схемою [11].

Таблиця 1

Показники гідротермічного забезпечення періоду вегетації редьки олійної сорту Журавка за різних строків сівби, 2014–2023 рр.

Рік	Сума опадів, мм (IV–VI)	$t_{\text{ср}}, ^\circ\text{C}$ (IV–VI)	Місяці періоду вегетації								
			IV			V			VI		
			ГТК	$I_{\text{п}}$	K_3	ГТК	$I_{\text{п}}$	K_3	ГТК	$I_{\text{п}}$	K_3
Весняний строк сівби											
2014	339,6	13,84	0,72	45,7	1,18	3,93	88,9	2,11	1,55	34,8	0,83
2015	142,3	14,36	0,64	37,3	0,78	0,92	20,6	0,41	0,72	16,9	0,27
2016	193,4	15,06	0,30	21,6	0,44	0,49	40,4	0,99	1,27	29,9	0,75
2017	125,1	14,07	3,92	39,2	0,75	0,78	16,8	0,34	0,50	11,9	0,22
2018	170,8	16,38	0,29	10,8	0,19	0,31	7,2	0,12	4,40	103,7	2,31
2019	398,5	15,39	0,57	33,5	0,72	4,9	111,0	3,29	1,68	41,4	0,96
2020	343,8	13,67	0,09	36,4	0,50	5,33	106,4	3,18	1,55	37,3	0,89
2021	282,8	13,26	0,23	38,8	0,96	3,13	66,7	1,64	1,68	39,8	1,00
2022	242,1	14,30	0,56	57,4	2,33	1,43	31,3	0,79	1,50	36,1	0,85
2023	239,8	14,18	1,54	91,5	3,33	0,08	1,9	0,04	1,64	38,9	0,87

Продовження таблиці 1

Рік	Сума опадів, мм (VII-X)	t _{ср.} , °C (VII-X)	Місяці періоду вегетації											
			VII			VIII			IX			X		
			ГТК	I _п	K _з	ГТК	I _п	K _з	ГТК	I _п	K _з	ГТК	I _п	K _з
Літній строк сівби														
2014	250,8	15,4	1,31	32,7	0,77	1,05	26,0	0,51	1,25	25,7	0,56	1,77	35,8	0,93
2015	160,8	16,6	0,32	8,1	0,14	0,12	3,1	0,05	1,18	26,8	0,63	3,04	49,4	1,25
2016	212,7	15,6	1,06	26,5	0,55	0,90	22,0	0,43	0,01	2,5	0,05	0,55	63,4	2,45
2017	318,0	16,0	1,52	37,5	0,72	0,82	20,7	0,38	3,10	61,2	1,57	1,07	30,0	1,26
2018	273,4	16,4	2,16	53,4	1,63	0,59	14,6	0,30	1,38	27,2	0,71	0,87	27,6	0,95
2019	161,7	16,0	1,01	24,4	0,56	0,24	5,9	0,11	0,99	20,7	0,42	0,38	27,4	0,93
2020	245,4	17,6	0,59	14,7	0,31	0,53	13,2	0,22	0,86	27,5	0,54	2,54	60,6	3,05
2021	176,9	15,4	0,78	20,1	0,45	1,46	35,7	0,91	0,71	17,6	0,51	0,00	1,7	0,04
2022	436,6	16,0	0,90	22,4	0,58	1,71	43,1	1,06	4,96	98,1	2,60	3,17	51,4	1,50
2023	247,1	18,3	1,41	35,8	0,82	0,65	16,9	0,36	1,01	23,4	0,63	1,03	29,9	0,93

Джерело сформовано на основі власних досліджень.

Ступінь інтегрального зв'язку з основними показниками базових факторів системи дослідження оцінювали за значенням коефіцієнта детермінації зв'язку (рівняння 5):

$$d_{yx} = r_{ij}^2 \times 100 \quad (5), \text{ де } r_{ij} - \text{коефіцієнт кореляції між } i\text{-м та } j\text{-м}$$

показником.

Було використано також метод кореляційного графа у двох інтерпретаціях (рівняння 6 та 7):

$$G = \sum_{|r_{ij}| \geq \alpha} |r_{ij}| \quad (6);$$

$$G' = (\sum_{|r_{ij}| \geq \alpha} |r_{ij}|) / n \quad (7), \text{ де } r_{ij} - \text{коефіцієнт кореляції між } i\text{-м та } j\text{-м}$$

показником. У розрахунках використовувалися лише достовірні коефіцієнти кореляції; n – кількість статистично значущих коефіцієнтів кореляції.

Виклад основного матеріалу досліджень. Важливим з позиції оцінки цінності відповідної сільськогосподарської культури для її застосування у варіантах сидерального використання, рекультивацийного (реабілітація деградованих ґрунтів) і біогазового потенціалу є оцінка біохімічного складу сформованої біомаси. Результати такої оцінки щодо надземної біомаси для досліджуваних строків сівби на дату фенологічного оптимального строку використання представлено послідовно у Таблицях 2 і 3. Для оцінки й визначення середньобагаторічного біохімічного портфолію редьки олійної було застосовано градації оцінок низки хрестоцвітих культур відповідно до досліджень Негтманн (2016) і Хансен (2022).

На підставі вказаних досліджень сформовану надземну біомасу рослин редьки олійної потрібно віднести до високобілкової із розмахом значень вмісту

Таблиця 2

Хімічний склад листостеблової маси редьки олійної за весняного строку сівби у фазу цвітіння (ВВСН 64–67), 2014–2023 рр. (у % на абсолютно суху речовину)

Рік	Органічна суха речовина (ОР)		Сирий протеїн (СП)		Сирий жир (СЖ)		Сира клітковина (СК)		Сира зола (СЗ)		Нейтрально-детергентна клітковина (НДК)		Кислотно-детергентна клітковина (КДК)		Лігнін (Л)	
	\bar{x}	*SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
2014	87,29	2,50	17,55	2,78	3,02	0,24	19,22	0,64	12,71	0,59	36,91	0,52	24,12	0,42	5,85	0,12
2015	85,41	1,82	15,08	1,91	5,55	0,40	23,07	0,65	14,59	0,45	40,12	0,29	31,24	0,59	4,77	0,14
2016	86,72	1,74	14,29	1,29	3,89	0,16	21,75	0,42	13,28	0,57	36,88	0,42	25,09	0,51	3,89	0,21
2017	84,89	2,47	15,91	1,85	5,09	0,49	23,24	0,30	15,11	0,19	38,09	0,35	28,57	0,57	4,05	0,12
2018	85,95	1,88	15,12	0,56	4,53	0,10	21,52	1,00	14,05	0,27	36,17	0,28	26,62	0,39	3,35	0,09
2019	87,48	1,59	19,17	0,84	3,01	0,31	19,17	0,87	12,52	0,76	34,02	0,19	22,19	0,25	3,58	0,11
2020	87,12	2,13	14,19	1,25	3,28	0,12	20,97	0,83	12,88	0,24	35,39	0,44	24,97	0,39	3,37	0,15
2021	87,39	1,72	12,75	0,83	3,59	0,45	21,83	0,43	12,61	0,34	36,41	0,25	25,17	0,47	4,02	0,07
2022	87,73	0,81	14,56	1,27	3,87	0,66	22,19	0,58	12,27	0,81	37,58	0,57	25,91	0,21	3,81	0,18
2023	86,32	1,49	17,02	1,01	3,94	0,20	22,29	0,87	13,68	0,54	35,89	0,39	24,11	0,33	3,96	0,13
\bar{X}	86,63	0,96	15,56	1,89	3,98	0,85	21,53	1,40	13,37	0,96	36,75	1,65	25,80	2,54	4,07	0,75
$R_{adj} < 0,05$	1,17-1,33	–	0,55-1,08	–	0,47-0,58	–	0,81-1,09	–	0,63-0,82	–	0,81-0,97	–	0,88-1,05	–	0,13-0,21	–
HP_{05}	1,29	–	0,87	–	0,52	–	1,00	–	0,75	–	0,90	–	0,93	–	0,16	–
Рік	Целюлоза	Геміцелюлоза	Загальний вміст азоту (N) (ЗВА)		Органічний вуглець (ОВ)		Загальний вміст фосфору (P)		Загальний вміст калію (K)		Загальний вміст кальцію (Ca)		Загальний вміст сірки (S)		Вміст глюкозидів-нолатів мкмоль/г (ГКЗ)	
	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
2014	18,27	12,79	2,81	0,44	38,25	0,57	0,54	0,06	2,71	0,11	1,07	0,14	0,32	0,06	12,08	0,45
2015	26,47	8,88	2,41	0,31	40,22	0,81	0,62	0,05	3,96	0,19	0,97	0,12	0,42	0,09	13,52	0,43
2016	21,20	11,79	2,29	0,21	39,14	0,48	0,77	0,17	4,74	0,24	1,00	0,10	0,50	0,10	14,51	0,37
2017	24,52	9,52	2,55	0,30	41,12	0,65	0,85	0,08	5,72	0,38	1,15	0,15	0,59	0,11	16,08	0,87
2018	23,27	9,55	2,42	0,09	39,77	0,78	0,69	0,07	3,74	0,20	1,03	0,08	0,52	0,06	15,56	0,57
2019	18,61	11,83	3,07	0,13	37,14	1,14	0,52	0,05	2,25	0,11	0,81	0,18	0,35	0,12	11,89	0,44
2020	21,60	10,42	2,27	0,20	40,09	0,43	0,63	0,08	4,08	0,16	0,92	0,07	0,35	0,05	12,44	0,60
2021	21,15	11,24	2,04	0,13	37,95	0,73	0,48	0,09	2,87	0,37	0,93	0,17	0,39	0,05	12,77	0,40
2022	22,10	11,67	2,33	0,20	38,44	0,46	0,51	0,03	3,03	0,10	0,89	0,10	0,41	0,08	13,84	0,52
2023	20,15	11,78	2,72	0,16	38,89	0,42	0,61	0,06	3,19	0,31	0,82	0,07	0,34	0,09	12,97	0,59
\bar{X}	21,73	10,95	2,49	0,30	39,10	1,21	0,62	0,12	3,63	1,04	0,96	0,11	0,42	0,09	13,57	1,44
$R_{min} < 0,05$	–	–	0,20-0,39	–	0,89-1,05	–	0,09-0,14	–	0,25-0,39	–	0,15-0,20	–	0,10-0,14	–	0,62-0,84	–
HP_{05}	–	–	0,34	–	0,98	–	0,12	–	0,34	–	0,18	–	0,12	–	0,78	–

*SD – стандартне відхилення; ** критерій Т'юкі (R_{min} для $p_{adj} < 0,05$).

Джерело сформовано на основі власних досліджень.

сирого протеїну на рівні 12–23 % за зростання показника за зміни строків сівби із весняних на літні з коефіцієнтом співвідношення 1,23. Визначений високий вміст жиру понад 3,0 % також актуалізує листостеблову масу редьки олійної з позиції її кормової цінності, а високою зольністю понад 12 % на фоні високого вмісту фосфору, калію, кальцію та сірки доведено ефективну можливість використання листостеблової маси одночасно на кормові та сидеральні цілі з огляду на рециклінг елементів живлення через систему їхнього повернення у ґрунт за допомогою застосування рослинних решток і зелених добрив у формі біомаси з редьки олійної. Відносно високий вміст целюлози на фазу цвітіння понад 18 % за весняного й понад 23 % за літнього строку сівби на фоні відмічених у редьки олійної [12] особливостей прискореного розвитку рослин (біологічного старіння) за літньої сівби й високих загальних темпів феностадійного формування рослин вказує на стійку тенденцію зниження якісних біохімічних показників рослинної маси під час її використання у більш пізніші фази вегетації. Це підтверджується співставленням вмісту не лише целюлози, але й складових похідних НДК, КДК і лігніну.

На це вказує також зростання вмісту лігніну у рослинній масі у 1,5 рази під час співставлення літнього й весняного строку сівби. Така стійка тенденція дозволила визначити особливості формування біомаси редьки олійної за різних досліджуваних дат сівби. Так для весняного строку сівби на фоні понижених середньодобових температур і повільних темпів їхнього наростання процес формування білкового комплексу проходить у нижчих стресових температурних умовах, що з огляду на дослідження [14] сприяє формуванню рослинних тканин із вищим рівнем органічної речовини, вищою оводненістю за нижчого вмісту клітковини й целюлози, нижчим вмістом протеїнів і нижчим рівнем зольності.

Для літнього строку сівби під час формування рослин за істотно вищих рівнів середньодобової температури й більш стресових умовах гідротермічного режиму вегетації (Таблиця 3) протікають біохімічні процеси зворотного характеру. Це підтверджується також результатами співставлення основних біохімічних складових весняного строку сівби до аналогічних середньобагаторічних показників літнього. Отримані коефіцієнти такого співвідношення у інтервалі років досліджень для ОР 1,03–1,11; СП 0,77–0,85; СЖ 0,74–0,88; СК 0,79–0,89; Лігнін 0,59–0,71; Целюлоза 0,81–0,89; Геміцелюлоза 0,73–0,85; загальний вміст азоту 0,74–0,85; вміст органічного вуглецю 0,91–0,99; вміст фосфору 0,89–0,98; вміст калію 0,85–0,94; вміст кальцію 0,87–0,95; S 0,79–0,90; вміст глюкозинолатів 0,82–0,88. У результуючому підсумку листостеблова маса редьки олійної різних строків сівби матиме різну критерійну оцінку за напрямками використання.

Водночас, у силу зростання стресовості загальних чинників довкілля (Latief et al. 2017), зростає і загальна варіативність отриманих середніх значень у розрізі років досліджень. За результатами представлених оцінок коефіцієнт варіації середнього з генеральної сукупності даних для літнього строку сівби редьки олійної мав середній коефіцієнт росту 1,21 до показників весняного строку сівби. Такі особливості зумовлюють підвищення варіативної складової щодо оцінки ефективності

Таблиця 3

Хімічний склад листостеблової маси редьки олійної за літнього строку сівби у фазу цвітіння (ВВСН 64–67), 2014–2023 рр. (у % на абсолютно суху речовину)

Рік	Органічна суха речовина (ОР)		Сирий протеїн (СП)		Сирий жир (СЖ)		Сира клітковина (СК)		Сира зола (СЗ)		Нейтрально-детергентна клітковина (НДК)		Кислотнo-детергентна клітковина (КДК)		Лігнін (Л)	
		*SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
2014	85,08	0,99	17,44	1,31	4,17	0,82	23,32	0,82	14,92	0,90	42,31	0,52	29,89	0,42	6,12	0,12
2015	83,79	0,87	14,88	1,61	5,82	0,62	26,72	0,70	16,21	0,72	46,12	0,29	33,17	0,59	6,61	0,14
2016	84,08	1,78	18,38	2,15	4,40	0,40	23,89	0,61	15,92	0,33	42,87	0,42	30,05	0,51	6,18	0,21
2017	85,36	3,32	19,88	2,00	4,29	0,33	22,97	0,75	14,64	0,60	41,92	0,35	29,19	0,57	5,74	0,12
2018	84,80	1,71	20,75	2,42	4,78	1,09	23,69	0,99	15,20	0,63	42,30	0,28	29,68	0,39	5,92	0,09
2019	83,21	1,13	16,13	1,65	5,02	0,48	25,33	1,03	16,79	0,35	44,35	0,19	31,87	0,25	6,48	0,11
2020	84,63	0,74	20,44	1,39	4,55	0,79	24,17	0,85	15,37	1,11	44,11	0,44	31,05	0,39	6,25	0,15
2021	83,56	1,93	19,31	1,52	4,72	0,28	24,85	0,64	16,44	0,86	44,55	0,25	31,27	0,47	6,29	0,07
2022	85,03	0,67	22,94	3,26	4,08	0,65	22,51	0,79	14,97	0,44	42,37	0,57	28,97	0,21	5,52	0,18
2023	84,42	0,54	21,44	3,13	4,27	0,32	23,92	0,64	15,58	0,92	43,09	0,39	30,34	0,33	6,09	0,13
\bar{x}	84,40	0,71	19,16	2,48	4,61	0,52	24,14	1,23	15,60	0,71	43,40	1,34	30,55	1,30	6,12	0,33
R_{\min}^{***} R_{adj} <0,05	0,81-0,96	–	1,05-1,28	–	0,82-0,96	–	0,92-1,19	–	0,88-1,12	–	0,99-1,36	–	1,53-1,81	–	0,32-0,48	–
LSD ₀₅	0,92	–	1,14	–	0,91	–	1,14	–	1,05	–	1,24	–	1,64	–	0,37	–
Рік	Целюлоза	Геміцелюлоза	Загальний вміст азоту (N) (ЗВА)		Органічний вуглець (ОВ)		Загальний вміст фосфору (P)		Загальний вміст калію (K)		Загальний вміст кальцію (Ca)		Загальний вміст сірки (S)		Вміст глюкози-нолатів мкмоль/г (ГКЗ)	
	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
2014	23,77	12,42	2,79	0,21	41,03	1,34	0,57	0,09	3,52	0,36	1,07	0,17	0,41	0,11	14,55	1,04
2015	26,56	12,95	2,38	0,26	39,82	1,31	0,71	0,10	4,71	0,20	1,13	0,26	0,68	0,06	17,58	1,56
2016	23,87	12,82	2,94	0,34	40,59	1,78	0,67	0,07	3,89	0,14	1,09	0,29	0,39	0,04	14,19	1,09
2017	23,45	12,73	3,18	0,32	38,51	0,79	0,59	0,09	3,33	0,46	0,92	0,18	0,35	0,06	13,92	0,60
2018	23,76	12,62	3,32	0,39	38,09	1,71	0,65	0,07	4,35	0,16	0,85	0,09	0,53	0,04	17,02	0,53
2019	25,39	12,48	2,58	0,26	40,87	0,82	0,78	0,07	4,98	0,15	1,28	0,23	0,56	0,17	17,19	0,56
2020	24,80	13,06	3,27	0,22	38,44	0,85	0,54	0,06	3,39	0,23	1,09	0,15	0,47	0,05	15,75	0,52
2021	24,98	13,28	3,09	0,24	41,29	0,76	0,64	0,09	3,57	0,34	1,05	0,09	0,59	0,07	17,53	0,70
2022	23,45	13,40	3,67	0,52	38,98	1,73	0,52	0,03	3,05	0,20	0,67	0,18	0,31	0,09	13,17	0,63
2023	24,25	12,75	3,43	0,50	39,15	0,89	0,59	0,08	3,82	0,40	0,95	0,11	0,49	0,09	16,09	0,47
\bar{x}	24,43	12,85	3,07	0,40	39,68	1,20	0,63	0,08	3,86	0,63	1,01	0,17	0,48	0,12	15,70	1,64
R_{\min}^{***} R_{adj} <0,05	–	–	0,41-0,53	–	1,73-1,95	–	0,07-0,15	–	0,32-0,44	–	0,21-0,32	–	0,08-0,15	–	1,11-1,24	–
LSD ₀₅	–	–	0,49	–	1,82	–	0,11	–	0,41	–	0,27	–	0,12	–	1,20	–

*SD – стандартне відхилення; **критерій Т'юкі (R_{\min} для $rad_j < 0,05$).

Джерело сформовано на основі власних досліджень.

застосування отриманої біомаси редьки олійної на критерійні цілі багатоцільового використання (як покривна проміжна культура, сидеральна і кормова культура та джерело для отримання біогазу).

Потрібно відзначити, що представленні результати біохімічної оцінки у Таблицях 2–3 мають і ряд інших особливостей. Так, вміст сирого протеїну за весняних строків сівби мав на 0,9–1,5 % нижче значення, а за літнього строку сівби не досягав значення 25–27 %, відмічену у вказаних вище дослідженнях. Вміст лігніну, целюлози і її похідних на 3,8–7,7 % вищі, ніж в оцінках Herrmann et al. (2016) і Hansen et al. (2021). Загальний вміст органічного вуглецю за результатами наших оцінок мав відносно стабільне значення з коливанням у межах 38–42 %, хоча у дослідженнях [15] це значення мало більш вузький інтервал 39–40 %, а в дослідженнях [16] для роду редькових відмічена можливість його значення на рівні 35–44 %. У дослідженні деталізація вмісту основних елементів (азоту, фосфору і калію) оцінена через два, відмінні за погодними умовами, сезони [13]. У співставленні до даних цього дослідження для редьки олійної на сірих лісових ґрунтах за умов нестійкого зволоження встановлено вищий на 0,13–0,33 % вміст фосфору, нижчий на 0,72–1,12 % вміст калію та вищий на 0,15–0,24 % вміст кальцію. Вміст азоту був нижчим на 0,18–0,35 %.

Щодо порівняння біохімічного профілю редьки олійної з іншими хрестоцвітими культурами, такими як гірчиця біла, ярий та озимий ріпак, тифон, визначено нижчий на 3,4–8,7 % вміст сирого протеїну, на рівні або вищий на 1,3–2,4 % вміст сирого жиру, на рівні або нижча на 1,7–2,2 % зольність, на рівні або нижчий на 0,7–2,5 % вміст лігніну, нижчий на 1,9–6,1 % вміст сирової клітковини, вищий вміст калію на 1,8–3,7 %, на рівні або нижчий на 0,12–0,22 % вміст фосфору, на рівні вміст кальцію та на рівні або нижчий на 0,27–0,35 % вміст сірки. Представленим порівнянням підтверджено цінність листостеблової маси редьки олійної як потенційного кандидата з використання у системі сидерації та можливого використання з анаеробної ферментації для отримання біогазу в умовах нестійкого зволоження на ґрунтах із середнім потенціалом родючості, до яких належать сірі лісові ґрунти, багаторічно досліджувані нами. Щодо вмісту глюкозинолатів, то даний показник важливий у критерійній системі багатопрофільного біоорганічного використання сформованої листостеблової маси сільськогосподарських культур з позиції забезпечення відповідною культурою насамперед біофумігаційного ефекту широкого спектру завдяки заробки сформованої біомаси рослин у ґрунт, що сприяє зниженню схожості насіння бур'янів, ґрунтовий фунгіцидний ефект проти ряду шкідливих патогенів та зниження чисельності ґрунтових шкідників, зокрема різних видів нематод і шкідників багатодіної групи з ґрунтовим циклом розвитку на стадії личинки завдяки ґрунтовій трансформації глюкозинолатів у ізотіоціанати (ІТЦ) [6]. Водночас висока концентрація цих сполук суттєво звужує такий напрям застосування цього виду як кормової культури, знижуючи кормову цінність рослини, і може зумовлювати низький рівень поїдання, а також низьку розладів у тварин [4].

Вміст глюкозинолатів є також важливим для хрестоцвітих культур, які використовуються за напрямком проміжного сидерального використання, оскільки встановлено, що ці сполуки беруть участь у формуванні стресових реакцій у рослин на абіотичні фактори, а їхнє інтенсивне зростання має високі рівні істотної кореляції із зростанням загальної стресовості періоду вегетації за кліматичними

параметрами, що є особливо важливим саме для проміжних культур, які часто вирощуються у літньо-осінній період із наростаючими стресовими умовами довкілля [6].

Середньобагаторічний показник вмісту глюкозинолатів у надземній біомасі редьки олійної був 13,57 мкмоль/г сухої речовини (за міжрічного варіювання 8,32 %) за весняної і за літньої сівби – 19,70 мкмоль/г сухої речовини (за міжрічного варіювання 10,58 %), що підтверджує збільшення їхньої концентрації за підвищення загальної стресовості періоду вегетації з огляду на рівень середньодобових температур (Таблиця 2–3). Відзначається [13] важливість у проведенні біохімічної оцінки листостеблової маси рослин, які застосовуються як покривні культури багатопільового використання системи відповідних співвідношень, які визначають процеси розкладу, мінералізації, акумуляції та прогнозованої інтенсивності анаеробної ферментації. З позиції вказаних критеріїв, біомаса редьки олійної, за інтервального значення співвідношення C/N з урахуванням значення SD у розрізі років досліджень 8,73–20,11 за міжрічного варіювання: 12,3 % – для весняного строку сівби й 15,4 % – для літнього строку сівби, цілком відповідає критеріям як кормової, так і сидеральної культури й прогнозовано забезпечуватиме швидкий розклад свіжої біомаси у ґрунті, особливо за умов достатнього вологозабезпечення на фоні високих середньодобових температур. За співвідношенням C/P листостеблова маса редьки олійної відповідає необхідному диспаритету між вмістом фосфору і його співвідношення до органічного вуглецю із середньобагаторічним значенням, який не перевищує 70 за міжрічного варіювання: 15,3 % – за весняного та 11,34% – за літнього строку сівби.

Встановлено, що ефективний варіант сидерації із загальним ефектом біофумігації можливий за співвідношення C/S на рівні не вище 120 [13–14]. За нашими оцінками, він був в інтервалі від 71 до 122 – за весняного строку сівби та від 59 до 134 – за літнього строку сівби, що відповідає вимогам ефективного процесу біофумігації за сидерального використання сформованої біомаси. За літнього строку сівби цей показник мав у 1,36 рази вищий рівень міжрічного варіювання, ніж за весняного строку сівби 25,6 % й істотно нижче його середньобагаторічне значення на 9,24 одиниці. На основі представлених раніше даних прослідковується істотність ролі гідротермічних умов періоду вегетації у формування біохімічних показників сформованої листостеблової маси редьки олійної як у варіанті базових компонентів, так і у варіанті їхніх співвідношень. Це підтверджується даними таблиць 4 і 5.

Відповідно до представлених даних за сумами і значеннями кореляційних графів першого і другого типів, визначальними у формуванні величини біохімічних параметрів листостеблової маси редьки олійної як для весняного, так і для літнього строку сівби, були гідротермічний коефіцієнт (ГТК) і коефіцієнт зволоження (K_z) за усередненого значення суми кореляційного графа G більше 12 одиниць (Табл. 4) – для базових показників, і 9 одиниць – для похідних показників і співвідношень (Табл. 5) за середнього значення показника у межах другого типу кореляційного графа на рівні 0,54–0,63 (із значенням детермінації ознаки на рівні 29–40 %).

Таблиця 4

Коефіцієнти кореляції Пірсона залежностей формування хімічного складу вегетативної маси редьки олійної на фазу цвітіння (ВВСН 64–67) від гідротермічних режимів періоду вегетації [для сумісної системи строки сівби-повторності-роки вирощування (N=80)]

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	-0.40	0.49	0.91	0.96	0.91	0.63	0.15	-0.84	-0.75	-0.63	-0.54	-0.68	-0.29	-0.77	0.11	0.15	-0.48	0.48	0.28	
2		-0.02	-0.71	-0.62	-0.71	-0.82	0.68	0.45	0.69	0.82	0.90	0.76	0.85	0.59	0.70	0.68	0.23	-0.90	-0.87	
3			0.29	0.37	0.29	0.25	0.37	-0.44	-0.26	-0.25	-0.09	-0.29	0.03	-0.40	0.41	0.37	-0.39	0.02	-0.09	
4				0.99	1.00	0.80	-0.22	-0.82	-0.81	-0.80	-0.75	-0.81	-0.55	-0.81	-0.18	-0.22	-0.47	0.75	0.61	
5					0.99	0.76	-0.10	-0.84	-0.81	-0.76	-0.70	-0.79	-0.47	-0.82	-0.09	-0.10	-0.48	0.68	0.51	
6						0.80	-0.22	-0.82	-0.81	-0.80	-0.75	-0.81	-0.55	-0.81	-0.18	-0.22	-0.47	0.75	0.61	
7							-0.41	-0.77	-0.87	-1.00	-0.89	-0.91	-0.78	-0.82	-0.36	-0.40	-0.61	0.92	0.80	
8								-0.02	0.13	0.41	0.46	0.28	0.53	0.10	0.62	1.00	-0.19	-0.70	-0.86	
9									0.84	0.77	0.68	0.85	0.45	0.92	-0.11	-0.02	0.55	-0.65	-0.46	
10										0.87	0.88	0.91	0.67	0.88	0.31	0.13	0.53	-0.79	-0.57	
11											0.89	0.91	0.78	0.82	0.36	0.40	0.61	-0.92	-0.80	
12												0.94	0.91	0.79	0.58	0.46	0.40	-0.90	-0.78	
13													0.78	0.95	0.26	0.27	0.56	-0.85	-0.69	
14														0.53	0.72	0.53	0.26	-0.80	-0.75	
15															-0.01	0.10	0.62	-0.72	-0.54	
16																0.62	-0.19	-0.53	-0.56	
17																	-0.19	-0.69	-0.86	
18																		-0.33	-0.19	
19																			0.96	
*	10.44	12.39	5.12	12.52	11.87	12.52	13.61	7.44	11.28	12.52	13.61	13.3	13.3	11.22	12.02	6.92	7.43	7.74	13.32	11.81
**	0.52	0.62	0.26	0.63	0.59	0.63	0.68	0.37	0.56	0.63	0.68	0.67	0.66	0.56	0.6	0.35	0.37	0.39	0.67	0.59

$r = |0|-|0.4|$ Відсутній або слабкий зв'язок; $r = |0.4|-|0.7|$ Помірний зв'язок; $r = |0.7|-|1.0|$ Сильний зв'язок. 1=Опади (мм); 2=Середньодобова температура (°C); 3=Відносна вологість повітря (%); 4=ГТК; 5= $I_{п}$; 6= K_3 ; 7=ОР; 8=СП; 9=СЖ; 10=СК; 11=СЗ; 12=НДК; 13=КДК; 14=Л; 15=Целюлоза; 16=Геміцелюлоза; 17=ЗВА; 18=ОВ; 19=БЕР; 20=Карбогідрати. * Граф G; ** Граф G'. Рівень значущості для $p < 0,05$, інтервал $r = 0,22-0,28$, для $p < 0,01$ $r = 0,29-0,36$, для $p < 0,001$ $r > 0,36$.

Джерело сформовано на основі власних досліджень

Водночас похідні гідротермічні показники мали більш істотний вплив на результуючу величину основних біохімічних індикаторів. Щодо вмісту азоту й сирого протеїну, то як зростання кількості опадів, так і підвищення середньодобових температур мало позитивний прямоформуєчий вплив на формування показника. Підвищення аридності періоду вегетації мало істотний прямий зв'язок з процесами фізіологічного старіння рослин редьки олійної, що відображалось підвищенням вмісту клітковини, лігніну й інших її похідних, а також зростанням показника співвідношення C/N. Показник співвідношення C/N також знижувався за зростання як суми опадів, так і середньодобової температури. Це пов'язано з теорією стресових білків і зростання вмісту азотистих сполук, а у випадку суми опадів завдяки подовженню тривалості вегетації та зниженню темпів фізіологічного старіння із формуванням підвищеного вмісту азоту на пізніх феностадіях. У випадку температури

Таблиця 5

Коефіцієнти кореляції Пірсона залежностей формування якості вегетативної маси редьки олійної на фазу цвітіння (ВВСН 64–67) від гідротермічних режимів періоду вегетації за множинними критеріями якості [для сумісної системи строки сівби-повторність-роки вирощування (N=80)]

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	-0.40	0.49	0.91	0.96	0.91	0.13	-0.21	0.51	0.67	-0.44	-0.23	-0.06	-0.54	-0.59	-0.53	-0.69	-0.71
2		-0.02	-0.71	-0.62	-0.71	-0.83	-0.61	-0.08	-0.30	0.46	0.84	-0.69	0.06	0.14	0.19	0.35	0.63
3			0.29	0.37	0.29	-0.25	-0.40	0.52	0.31	-0.24	0.08	-0.29	-0.52	-0.51	-0.50	-0.38	-0.23
4				0.99	1.00	0.38	0.15	0.43	0.60	-0.46	-0.50	0.24	-0.45	-0.50	-0.42	-0.63	-0.78
5					0.99	0.41	0.03	0.46	0.64	-0.46	-0.42	0.14	-0.48	-0.54	-0.46	-0.66	-0.78
6						0.52	0.15	0.43	0.60	-0.46	-0.50	0.24	-0.45	-0.50	-0.42	-0.63	-0.78
7							0.61	-0.13	0.08	-0.59	-0.93	0.94	0.15	0.08	-0.17	-0.14	-0.40
8								-0.25	-0.21	0.19	-0.54	0.60	0.32	0.34	0.36	0.22	-0.07
9									0.60	-0.17	0.04	-0.18	-0.98	-0.88	-0.52	-0.66	-0.56
10										-0.40	-0.19	-0.04	-0.61	-0.67	-0.58	-0.97	-0.89
11											0.71	-0.60	0.22	0.34	0.68	0.48	0.51
12												-0.93	-0.05	0.06	0.32	0.25	0.49
13													0.20	0.15	-0.19	-0.01	-0.24
14														0.92	0.60	0.68	0.58
15															0.58	0.73	0.65
16																0.61	0.55
17																	0.91
*8.92	7.64	5.71	9.44	9.29	9.44	6.47	5.26	7.40	8.37	7.40	7.11	5.72	7.81	8.17	7.67	8.97	9.78
**0.50	0.42	0.32	0.52	0.52	0.52	0.36	0.29	0.41	0.46	0.41	0.4	0.32	0.43	0.45	0.43	0.50	0.54

$r=|0|-|0.4|$ Відсутня або слабка кореляція; $r=|0.4|-|0.7|$ Помірна кореляція; $r=|0.7|-|1.0|$ Сильна кореляція. 1=Опади (мм); 2=Середньодобова температура (°C); 3=Відносна вологість повітря (%); 4=ГТК; 5= I_n ; 6= K_3 ; 7=Якість рослинних решток (ЯРР) 8=C/N відношення; 9=C/P відношення; 10=C/S співвідношення; 11=Лігнін/N співвідношення; 12=Лігнін/C співвідношення; 13=Целюлоза / Лігнін співвідношення; 14=Вміст P; 15=Вміст K; 16=Вміст Ca; 17=Вміст S; 18=Вміст глюкозинолатів.

** Граф G; *** Граф G'. Рівень значущості для $p<0,05$, інтервал $r=0,22-0,28$, для $p<0,01$ $r=0,29-0,36$, для $p<0,001$ $r>0,36$.

Джерело сформовано на основі власних досліджень

формується система стрес-реакційної відповіді у формі підвищеного вмісту стресових білків і, відповідно, вищої концентрації азоту у біомасі. Як наслідок, на фоні зазначеного раніше сталого показника вмісту органічного вуглецю, це знижує величину співвідношення C/N. Водночас негативно формуюча спрямованість показника індексу посушливості (I_n) і позитивно формуюча для коефіцієнту зволоження (K_3) вказує на більш вагому роль співвідношення опадів до випаровуваності, ніж опадів до суми температур.

Щодо показника якості рослинних решток, то відзначено його зниження як за зростання суми опадів, так і за зростання температури. Це пояснюється інтенсифікацію вегетативних ростових процесів із сповільненням якісних біохімічних перетворень, характерних для процесів природного фізіологічного старіння. Водночас зростання температури забезпечуватиме зростання вмісту

лігнін похідних, а зростання суми опадів зумовить процес загального зменшення похідних компонентів клітковини (що підтверджується загальним зниженням показника співвідношення целюлози й геміцелюлози для ряду хімічних компонентів, таких як вміст азоту, вміст органічного вуглецю та внутрішнього співвідношення до вмісту лігніну). У підсумку це сформує рослинні рештки із швидкими темпами аеробного гниття та знизить їхню якість з позиції біоциклінгу складових компонентів. Такий характер узгоджується з визначеними залежностями між показником якості рослинних решток редьки олійної та гідротермічними співвідношеннями – коефіцієнту посушливості I_p і коефіцієнту зволоження K_z (детермінація ознаки на рівні 30–60 %).

Кореляційним аналізом доведена також позитивно формуюча дія зростання середньодобових температур і негативно формуюча за сумою опадів на накопичення глюкозинолатів (детермінація ознаки на рівні 31–52 %), що узгоджується з істотно вищою їхньою концентрацією у біомасі редьки олійної за літнього строку сівби, особливо за умов дефіциту зволоження на фоні інтенсивно наростаючих середньодобових температур і позитивно співвідноситься з аналогічними дослідженнями на інших хрестоцвітих культурах [17].

Висновки і перспективи подальших досліджень. Отже, дослідження, проведені багаторічним циклом, доводять цінність сформованої біомаси рослин редьки олійної як за варіанту весняного (основна полезаймаюча культура), так і за літнього (проміжна культура) строку сівби для багатоцільового використання у системі корми–сидерація–мульчування–сировина для виробництва біогазу.

Встановлено істотний вплив гідротермічного режиму вегетації редьки олійної на формування біохімічного складу листостеблової маси редьки олійної. Водночас оптимум формування біохімічного складу для застосування біомаси на різні цілі у єдиному технологічному строковому варіанті вирощування буде мати високий прогностичний результуючий ефект за достатнього зволоження на фоні помірного наростання середньодобових температур до фази цвітіння культури. Зважаючи на ці причини, цінність сформованої біомаси за літнього строку сівби має менший варіативний інтервал багатоцільового використання, ніж за варіантів весняної сівби. Це потрібно враховувати під час використання редьки олійної у варіантах біоорганічних ґрунтовідновлюючих і ґрунтореабілітаційних технологій на сірих лісових ґрунтах в умовах Лісостепу правобережного України.

Перспективою подальших досліджень є вивчення особливостей формування кореневої (підземної біомаси) рослинами редьки олійної як додаткового джерела агробіомаси для безпосереднього використання у системах різноваріантної сидерації, біофумігації та рослинного мульчування.

Список використаної літератури

1. Глущенко М.К., Крупко Г.Д. Особливості застосування сидерації та роль зелених добрив у підвищенні родючості ґрунтів. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія «Сільськогосподарські науки»*. 2016. 3 (75). С. 173–178.
2. 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.
3. Паламарчук В.Д., Коваленко О.А., Кричковський В.Ю. Підвищення ефективності біогазових комплексів за рахунок використання дигестату під час вирощування сільськогосподарських та овочевих культур. *Міжнародний тематичний науковий збірник «Зрошуване землеробство»*. 2020. Вип. 73. С. 95–101. DOI: <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2020.73.18>.
4. Писаренко В.М. Антонєць А.С., Лук'яненко Г.В. Система органічного землеробства агроєколога С.С. Антонця. Полтава, 2016. 131 с.
5. Дегодюк С.Е., Дегодюк Е.Г., Проненко М.М., Ігнатенко Ю.О., Пипчук Н.М., Мулярчук А.О. Ефективність застосування відновлюваних місцевих ресурсів за органічного землеробства: науково-методичні рекомендації. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2020. 48 с.
6. Цицюра Я.Г., Цицюра Т.В. Редька олійна. Стратегія використання та вирощування: монографія. Вінниця: ТОВ «Нілан ЛТД», 2015. 624 с.
7. Green Manure Global Market Report 2024 2023. By Type (Leguminous, Non Leguminous), By Source (Dhaincha, Sesbania, Sunhemp, Other Sources), By Application (Grains And Cereals, Pulses And Oilseedseeds, Fruits And Vegetables, Other Applications) - Market Size, Trends, And Global Forecast 2024–2033. URL: <https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/green-manure-global-market-report>. (дата звернення 22.04.2022).
8. Сайко В.Ф. Особливості проведення досліджень з хрестоцвітими олійними культурами. К.: «Інститут землеробства НААН», 2011. 76 с.
9. Лавринюк О.О., Бурлака В.А. Зоохімічний аналіз кормів. Хімічний та атомно-адсорбційний аналіз кормів: Навчальний практикум / за ред. В.А. Бурлаки. Житомир, 2016. 110 с.
10. AOAC. Official Method of Analysis: Association of Analytical Chemists. 19th Edition, Washington DC, 2012. P. 101–130.
11. Snecdecor G.W., Cochran W.G. Statistical Methods, 8th Edition. Wiley-Blackwell, 1991. 524 p.
12. Tsytsiura Y.H. Modular-vitality and ideotypical approach in evaluating the efficiency of construction of oilseedseed radish agrophytocenosises (*Raphanus sativus* var. *oleifera* Pers.). *Agraarteadus*. 2020. 31 (2). P. 219–243. DOI: <https://doi.org/10.15159/jas.20.27>.
13. Herrmann C., Plogsties V., Willms M., Hengelhaupt F., Eberl V. Eckner J. Methane production potential of various crop species grown in energy crop rotations.

Landtechnik. 2016. Vol. 71. P. 194–209. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12155-019-9960-5>.

14. Hansen V., Müller-Stöver D., Magid J. Green manure crops for low fertility soilseeds 2022. URL: https://orgprints.org/id/eprint/37832/1/poster_Veronika%20Hansen.pdf (дата звернення 09.08.2023).

15. Liu X.H., Zhou X., Deng L.C., Fan L.Y., Qu L., Li M. Decomposition characteristics of rapeseed green manure and effect of nutrient release on soilseed fertility. *Hunan Agricultural Science*. 2020. Vol. 416. P. 39–44. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture11121219>.

16. Toungos M.D., Bulus Z.W. Cover crops dual roles: Green manure and maintenance of soilseed fertility, a review. *International Journal of Innovative Agriculture and Biology Research*. 2019. Vol. 7 (1). P. 47–59.

17. Israt I.J., Parimal B.K. Residual Effect of Green Manure on Soilseed Properties in Green Manure-Transplant Aman-Mustard Cropping Pattern. *Indian Journal of Agricultural Research*. 2023. Vol. 57 (1). P. 67–72. DOI: 10.18805/IJARE.AF-696.

Список використаної літератури у транслітерації / References

1. Hlushchenko M.K., Krupko H.D. (2016). Osoblyvosti zastosuvannya syderatsii ta rol zelenykh dobriv u pidvyshchenni rodiuchosti gruntiv [*Peculiarities of green manure application and the role of green fertilizers in increasing soilseed fertility*]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannya. Seriya "Silskogospodarski nauky" – Bulletin of the National University of Water and Environmental Engineering. Series "Agricultural Sciences"*. 3 (75). 173–178. [in Ukrainian].

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

3. Palamarchuk V.D., Kovalenko O.A., Krychkovskiy V.Iu. (2020). Pidvyshchennia efektyvnosti biohazovykh kompleksiv za rakhunok vykorystannia dyhestatu pid chas vyroshchuvannya silskohospodarskykh ta ovochevykh kultur [*Increasing the efficiency of biogas complexes through the use of digestate in the cultivation of agricultural and vegetable crops*]. *Mizhnarodnyj tematychnyj naukovyj zbirnyk «Zroshuvane zemlerobstvo» – International thematic scientific collection "Irrigated agriculture"*. Issue 73. 95–101. DOI: <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2020.73.18>. [in Ukrainian].

4. Pysarenko V.M., Antonets A.S., Lukianenko H.V. (2016). Systema orhanichnoho zemlerobstva ahroekoloha S.S. Antontsia [*Organic farming system of agroecologist S.S. Antonets*]. Poltava. [in Ukrainian].

5. Dehodiuk S.E., Dehodiuk E.H., Pronenko M.M., Ihnatenko Yu.O., Pypchuk N.M., Muliarchuk A.O. (2020). Efektyvnist zastosuvannya vidnovliuvanykh

mistsevykh resursiv za orhanichnoho zemlerobstva: naukovo-metodychni rekomendatsii [*Efficiency of the use of renewable local resources in organic farming: scientific and methodological recommendations*]. Vinnytsia: TOV «TVORY». [in Ukrainian].

6. Tsytsiura Ya.H., Tsytsiura T.V. (2015). Redka oliina. Stratehiia vykorystannia ta vyroshchuvannia: monohrafiia [*Oilseedseed radish. Strategy of use and cultivation: monograph*]. Vinnytsia: TOV “Nilan LTD”. [in Ukrainian].

7. Green Manure Global Market Report 2024 (2023). By Type (Leguminous, Non Leguminous), By Source(Dhaincha, Sesbania, Sunhemp, Other Sources), By Application (Grains And Cereals, Pulses And Oilseedseeds, Fruits And Vegetables, Other Applications) - Market Size, Trends, And Global Forecast 2024–2033. URL: <https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/green-manure-global-market-report>. (data zvernennia 22.04.2022)

8. Saiko V.F. (2011). Osoblyvosti provedennia doslidzhen z khrestotsvitymy oliinymy kulturamy. [*Features of research with cruciferous oilseedseeds*]. K.: «Instytut zemlerobstva NAAN». [in Ukrainian].

9. Zookhimichniy analiz kormiv. Khimichniy ta atomno-adsorbtsiinyi analiz kormiv: Navchalnyi praktykum (2016). [*Zoochemical analysis of feeds. Chemical and atomic absorption analysis of feed: A training workshop*] / O.O. Lavryniuk, V.A. Burlaka; za red. V.A. Burlaky. Zhytomyr. [in Ukrainian].

10. AOAC. (2012). Official Method of Analysis: Association of Analytical Chemists. 19th Edition, Washington DC. P. 101–130. [in English].

11. Snecdecor G.W., Cochran W.G. (1991). Statistical Methods, 8th Edition. Wiley-Blackwell, 524 p. [in English].

12. Tsytsiura Y.H. (2020). Modular-vitality and ideotypical approach in evaluating the efficiency of construction of oilseedseed radish agrophytocenosises (*Raphanus sativus* var. *oleifera* Pers.). *Agraarteadus*. 31(2). P. 219–243. DOI: <https://doi.org/10.15159/jas.20.27>. [in English].

13. Herrmann C., Plogsties V., Willms M., Hengelhaupt F., Eberl V. Eckner J. (2016). Methane production potential of various crop species grown in energy crop rotations. *Landtechnik*. Vol. 71. P. 194–209. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12155-019-9960-5>. [in English].

14. Hansen V., Müller-Stöver D., Magid J. (2022). Green manure crops for low fertility soilseeds . URL: https://orgprints.org/id/eprint/37832/1/poster_Veronika%20Hansen.pdf (data zvernennia 09.08.2023). [in English].

15. Liu X.H., Zhou X., Deng L.C., Fan L.Y., Qu L., Li M. (2020). Decomposition characteristics of rapeseed green manure and effect of nutrient release on soilseed fertility. *Hunan Agricultural Science*. Vol. 416. P. 39–44. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture11121219>. [in English].

16. Toungos M.D., Bulus Z.W. (2019). Cover crops dual roles: Green manure and maintenance of soilseed fertility, a review. *International Journal of Innovative Agriculture and Biology Research*. Vol. 7 (1). P. 47–59. [in English].

17. Israt I.J., Parimal B.K. (2023). Residual Effect of Green Manure on Soilseed Properties in Green Manure-Transplant Aman-Mustard Cropping Pattern. *Indian Journal of Agricultural Research*. Vol. 57 (1). P. 67–72. DOI: 10.18805/IJARE.AF-696.

ANNOTATION

THE ROLE OF HYDROTHERMAL REGIME OF VEGETATION IN THE FORMATION OF QUALITATIVE INDICATORS OF OILSEED RADISH BIOMASS IN THE SYSTEM OF ITS MULTIDISCIPLINARY USE

During a ten-year cycle of field and laboratory studies, the full biochemical composition of the aboveground leaf mass of oilseed radish was investigated by basic and derived indicators. The evaluation included an additional range of ratios that are taken into account in the system of multidisciplinary evaluation of cover crops with the possibility of their simultaneous involvement in bioorganic fertilization, soilseed restoration, as a raw material for biogas and biofumigation options.

The levels of interannual variability of the main parameters of biochemical composition were determined with the detailing of the average biochemical profile of the leaf-stem mass of oilseed radish and the obtained values were compared with similar indicators of common cruciferous species that are traditionally used in the system of bioorganic and soilseed rehabilitation.

The possibility of using oilseed radish in variants of intermediate saturation of crop rotations with its subsequent use for green manure, green manure-fodder and raw material-biogas purposes was analyzed on the basis of the assessment of the hydrothermal regime of different-term sowings of oilseed radish in spring and summer variants. The general stress resistance and adaptability of this species to use in variants of different sowing dates against the background of stressful (unfavorable) environmental factors were determined.

The role of hydrothermal conditions of the vegetation period on the formation of biochemical components of the formed leaf-stem mass was assessed with the detailing of dependencies based on correlation analysis, the level of average determination of the indicator in the system of paired single dependencies, which allowed to formulate prognostic options for the formation of the indicator depending on the variability of weather conditions and the dynamics of precipitation and average daily temperatures.

Conclusions have been developed about the value of oilseed radish for multidisciplinary use on gray forest soilseeds under conditions of unstable moisture, which allows developing agrotechnological solutions in the field of oilseed radish use as both a main and intermediate crop.

Keywords: oilseed radish, green manure, intercrops, biofumigation, plant biomass.

Table. 5. Fig. 1. Lit. 17.

Інформація про автора

Цицюра Ярослав Григорович – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри землеробства, ґрунтознавства та агрохімії ВНАУ (21008, м. Вінниця, вул. Сонячна 5/42, e-mail: yaroslavtsytsyura@ukr.net, 0675854008).

Tsytsiura Yaroslav Grigoryevich – Candidate of Agricultural Sciences (PhD), Associate Professor of the Department of Soilseed Management, Soilseed Science and Agrochemistry, Vinnytsia National Agrarian University (21008, Vinnytsia town, Sonyachna st., build 5/42, e-mail: yaroslavtsytsyura@ukr.net, 0675854008).