

УДК 635.15:631.5

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.136.2.25>

## ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ПОКАЗНИКА СПІВВІДНОШЕННЯ С/Н У НАДЗЕМНІЙ БІОМАСІ РЕДЬКИ ОЛІЙНОЇ ЯК КРИТЕРІЙ ЇЇ БАГАТОЦІЛЬОВОГО ВИКОРИСТАННЯ

Цицюра Я.Г. – к.с.-г.н.,

доцент кафедри землеробства, ґрунтознавства та агрохімії,

Вінницький національний аграрний університет

Зміни у парадигмі удобрення викликані як дефіцитом агрохімічних ресурсів, так і екологізацією системи живлення сільськогосподарських рослин з огляду на ґрунтозбереження та відновлення деградованих ґрунтів на принципах кліматичної нейтральності змовлюють імплементацію системи використання у сівозміні насичуючих (проміжних) культур багатоцільового використання. Така система передбачає можливість їх застосування на сидерацію, кормові цілі, біоенергетичні потреби. З позиції технологічного регламенту такої оцінки показник співвідношення органічного вуглець до загального азоту є мірилом можливості такого використання. З метою вивчення можливості використання листостеблової маси редьки олійної за таким спрямуванням у Вінницькому національному аграрному університеті проведено багаторічні дослідження із вивчення загальних особливостей формування даного показника за двох широкоживаних строків сівиби – весняного та літнього. У дослідженнях було використано районований сорт редьки олійної Журавка за традиційної схеми конструювання проміжних посівів редьки олійної (2,5 млн. шт./га схожих насінин з міжряддям 15 см на неудобреному фоні). Для обліку показника С/Н було використано адаптовані до європейських практик методики з використанням відібраної біомаси на фазу цвітіння, яка є найбільш рекомендованою для граничного використання на різні цілі. Встановлений багаторічний інтервал показника С/Н 12–20 для весняного та 10–17 для літнього строку сівиби, що з позиції десятирічного циклу оцінок дозволили рекомендувати рослину масу редьки олійної на основні варіанти багатоцільового використання у системі проміжних (насичувальних) культур сівозміни для умов нестійкого зволоження на сірих лісових ґрунтах. Визначено також прогностичні моделі із ранжованими залежностями величини показника С/Н від базових гідротермічних величин та співвідношень на підставі застосування коефіцієнту детермінації, які засвідчили складний характер формування показника з часткою факторного впливу в середньому на рівні 35–40%. Це вказує на відповідний рівень фізіологічної адаптивності редьки олійної та можливість її багатоцільового використання у системі збереження ґрунтової родючості у різних ґрунтово-кліматичних зонах за відповідного фізіологічно-мінімального рівня температури- та вологозабезпечення.

**Ключові слова:** редька олійна, сидерація, біогаз, біоорганічні системи удобрення, гідротермічні показники вегетації.

### **Tsytsiura Y.G. Peculiarities of formation of C/N ratio in aboveground biomass of oilseed radish as a criterion for its multipurpose use**

Changes in the fertilizer paradigm caused by both the shortage of agrochemical resources and the greening of the crop nutrition system in view of soil conservation and the restoration of degraded soils on the principles of climate neutrality require the implementation of a system of using saturating (intermediate) crops for multiple purposes in crop rotation. Such a system provides for the possibility of their use for green manure, fodder, and bioenergy needs. From the point of view of the technological regulations of such an assessment, the ratio of organic carbon to total nitrogen is a measure of the possibility of such use. In order to study the possibility of using oil radish leaf mass for this purpose, Vinnytsia National Agrarian University conducted long-term research on the general features of the formation of this indicator at two widely used sowing dates – spring and summer. The researchers used a zoned oil radish variety 'Zhuravka' under the traditional scheme of designing intermediate sowings of oil radish (2.5 million

*seeds ha<sup>-1</sup> of germinating seeds with 15 cm row spacing on an unfertilized background). To account for the C/N ratio, methods adapted to European practices were used using selected biomass at the flowering stage, which is the most recommended for maximum use for various purposes. A multi-year interval of C/N index 12–20 for spring and 10–17 for summer sowing was established, which, from the standpoint of a ten-year evaluation cycle, allowed us to recommend the plant mass of oil radish for the main options for multipurpose use in the system of intermediate (saturating) crops of crop rotation for conditions of unstable moisture on gray forest soils. The prognostic models with ranked dependencies of the C/N value on the basic hydrothermal values and ratios based on the use of the determination coefficient were also determined, which showed a complex nature of the formation of the indicator with a share of factor influence at an average of 35–40%. This indicates the appropriate level of physiological adaptability of oil radish and the possibility of its multipurpose use in the system of soil fertility conservation in different soil and climatic zones at the appropriate physiologically minimal level of temperature and moisture supply.*

**Key words:** oilseed radish, green manure, biogas, bioorganic fertilizer systems, hydrothermal parameters of vegetation.

**Постановка проблеми.** Сучасні системи удобрення трансформуються в світі і Україні у органічно-мінеральну схему де намагаються досягти певного позитивного співвідношення між часткою класичних мінеральних добрив та різних форм органіки [1, с. 5–6]. Разом із тим дефіцит традиційних органічних добрив в Україні та світі викликаний як загальним скороченням поголів'я тварин, так і переведенням сучасних тваринницьких комплексів на систему біоорганічного замкнутого циклу енергопостачання з використанням відходів тваринництва для отримання біогазу – зумовив в останніх десять років інтенсивний пошук альтернатив класичному гноєві [2, с. 174–175]. Такими альтернативами на ринку сьогодні є використання лінійки різноманітних зелених добрив у формі сидератів, мульчування, комбінованого компостування та системи покривних культур [3, с. 3–5]. Крім того активно розвивається напрям дослідження можливості використання сформованої біомаси проміжних культур на отримання біогазу за рахунок анаеробної ферментації з метою отримання як одного із видів цінних біопалив, так і з метою отримання субпродукту дигестату, який у системі біорециклінгу успішно адаптується для тих же варіантів біоорганічного удобрення [4, с. 95–97]. При цьому слід зауважити, що світовий ринок таких культур має виражену позитивну динаміку росту. Так, у У Звіті про світовий ринок сидератів за 2024 рік [5, с. 4–9] зазначається, що обсяг ринку сидератів за останні роки значно зріс. Він продовжив зростати з \$2,17 млрд у 2023 році до \$2,33 млрд у 2024 році при середньорічному темпі зростання (CAGR) 7,6%. Зростання в історичний період можна пояснити практиками органічного землеробства, обізнаністю про здоров'я ґрунтів, практиками сівозміни, державною підтримкою та субсидіями, диверсифікацією культур, збереженням води, зменшенням впливу на навколишнє середовище. Очікується, що в найближчі кілька років обсяг ринку сидератів буде стрімко зростати. Він зросте до \$3,07 млрд на період до 2028 року при середньорічному темпі зростання (CAGR) 7,1%. Зростання в прогнозованому періоді можна пояснити адаптацією до зміни клімату, практиками відновлюваного сільського господарства, споживчим попитом на стале сільське господарство, інтеграцією в точне землеробство, посиленням мікробної активності ґрунту, управлінням якістю води. Основні тенденції в прогнозованому періоді включають застосування хрестоцвітних та бобових покривних культур, використання озимих покривних культур, систем землеробства no-till і reduced-till, інновації в галузі ґрунтовикористання за рахунок системи насичення сівозмін

покривними сидеральними культурами як в одновидовому, так і полівидовому складі. Така динаміка також базується на доведених цінних властивостях сидеральних систем у приміненні до інноваційних підходів у землеробстві з огляду на біохімічну складову їх біомаси та можливості ефективного використання за багатоцільовим напрямком як кормові, покривні, сидеральні, біоенергетичні та ґрунтозахисні культури [6, с. 7–9]. Виходячи з цього дослідження базового показника прогнозованої якості сформованої біомаси як критерію такого багатofункціонального напрямку застосування є актуальним.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Слід зауважити що ведеться науковий пошук щодо розширення переліку ефективних сільськогосподарських культур, які можна ефективно використовувати для біоорганічних, екологоорієнтованих та ґрунторемедіюючих систем серед різних видів рослин [7, 2–4]. При цьому відмічається що ефективність та можливість багатоцільового використання проміжних культур, які вирощуються у форматі насичених для сформованої системи сівозмін напряму залежить від біохімічного складу сформованої листостеблової маси [8, с. 36]. Одним із базових критеріїв з позиції їх позитивної дії на гумусонакопичення, позитивний баланс основних елементів, активізацію мікробіологічного потенціалу ґрунту, швидкість розкладу та іммобілізації рослинних компонентів, можливість їх ефективного використання як у плані сидерації, так і у використанні для отримання біогазу, застосування як варіант свіжого зеленого корму є співвідношення C/N [9, с. 24–25]. При цьому наголошується, що формування біохімічного потенціалу листостеблової маси даних культур залежить від гідротермічних умов росту і розвитку відповідних культур, проте ця залежність має видовоспецифічний характер і потребує експериментального уточнення по кожному виду рослин [3, с. 176–177]. Не дивлячись на актуальність оцінки показника співвідношення C/N є ряд дискусійних питань, які потребують додаткового наукового узагальнення у зв'язку із змінами клімату, переформатування традиційних технологій удобрення та переоцінкою значимості окремих сидеральних культур. З огляду на це тривалий період нами проводяться дослідження щодо всебічної оцінки багатoproфільної культури редьки олійної (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.) у тому числі з позиції ефективності її багатоцільового використання як складового компоненту сидеральних, біогазових технологій та ефективного використання у системі зеленого конвеєра [10, с. 197–200]. При цьому слід зауважити, що формування біохімічних показників сформованої біомаси редьки олійної у багаторічній динаміці на фоні різного строкового використання є питанням маловивченим науковою спільнотою як вітчизняною, так і зарубіжною та потребує подальшого наукового узагальнення.

**Метою дослідження** було дослідити вплив основних показників гідротермічного режиму вегетації редьки олійної на формування вже згаданого співвідношення C/N у сформованій біомасі редьки олійної за весняного та літнього строку сіви у плані її подальшого різноцільового використання.

**Матеріали та методи дослідження.** 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, рН<sub>кел</sub> 5.8.

Було використано сорт редьки олійної Журавка комбінованого використання (зелена маса–сидерація–насіння). Посів проводився на неодобреному 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, вивчалися 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–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–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–третьій декаді липня при даті фенологічного досягнення оптимальної фази багатоконпонентного використання біомаси редьки олійної (фаза цвітіння (ВВСН 64–67) на другу–третю декаду жовтня).

Дослідні ділянки було сформовано у чотирьохразовій повторності методом дрібноділянкової рендомізації (загальна площа ділянки 35 м<sup>2</sup> облікова площа ділянки 25 м<sup>2</sup>). Супутні спостереження та обліки проводились відповідно до базових рекомендацій проведення досліджень із хрестоцвітими культурами [11, с. 10–31].

Для контролю чисельності бур'янів застосовували суміш гербіцидів у фазу розетки (ВВСН 20–22) Галера 334, водний розчин (клопиралід, 267 г/л + пиклорам, 67 г/л), 0,3 л/га – проти дводольних бур'янів; Селект, концентрат емульсії (клетодим, 120 г/л), 0,7 л/га – грамініцид. Для контролю чисельності хрестоцвітих блішок (*Phyllotreta atra* F., *Phyllotreta nemorum* L., *Phyllotreta undulata* Kutsch, *Phyllotreta nigripes* F.) було застосовано інсектицид Блискавка (концентрат емульсії, альфациперметрин 100 г/л) 0,2 л/га у фазу сім'ядолей–перших справжніх листків (ВВСН 10–12).

Всі лабораторні хімічні аналізи проводилися з використанням відібраних зразків листостеблової маси на рубіжну дату її використання із визначенням базових компонентів біохімічного аналізу, виражених в абсолютно сухій вазі відповідно до стандартних методик з врахуванням європейських стандартів [12, с. 15–30; 13, с. 101–130], а саме:

– вмісту загального азоту за методом К'ельдаля проводили на аналізаторі KjeLROC Kd-310 (ISO 17025);

– вміст загального органічного вуглецю визначали за допомогою лабораторного аналізатора загального органічного вуглецю серії ТОС-СРН за стандартним протоколом низькотемпературного термокаталітичного окислення рослинного матеріалу;

– співвідношення С/Н розраховувалося як відношення загального органічного вуглецю (ЗОВ) до загального вмісту азоту.

Аналіз погодних умов та рівня їх 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:

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

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

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

де  $P_{on}$  та  $T_{сер.}$  – кількість опадів та середня температура повітря у відповідному місяці, відповідно.

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

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

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

де:  $E$  – випаровуваність рослин для певного періоду, мм;  $t$  – середня температура повітря за період °С;  $a$  – 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 [14, с. 220–221] роки досліджень було розміщено у наступному 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 наступним: 2015–2021–2019–2016–2023–2014–2020–2018–2017–2022.

Таблиця 1

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

Рік	Сума опадів, мм (IV–VI)	$t_{сер.}, ^\circ\text{C}$ (IV–VI)	Місяці періоду вегетації								
			IV			V			VI		
			ГТК	$I_n$	$K_z$	ГТК	$I_n$	$K_z$	ГТК	$I_n$	$K_z$
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

Закінчення табл. 1

Рік	Сума опадів, мм (VII-X)	$t_{\text{ср.}}, ^\circ\text{C}$ (VII-X)	Місяці періоду вегетації											
			VII			VIII			IX			X		
			ГТК	$I_n$	$K_3$	ГТК	$I_n$	$K_3$	ГТК	$I_n$	$K_3$	ГТК	$I_n$	$K_3$
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

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 показники: середнє арифметичне, стандартне відхилення (SD) та коефіцієнт варіації ( $C_v$ ). Крім того, для всього масиву даних було проведено кореляційний аналіз Спірмена та дисперсійний аналіз за стандартною схемою [15, с. 12–32].

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

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

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

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Отримані результати (Таблиця 1) показують, що як загальний вміст азоту, так і загальний вміст органічного вуглецю мають відповідний рівень міжрічної мінливості, що у підсумку відображується на результатах їх співвідношень.

Що стосується вмісту органічного вуглецю то для більшості культур цей показник має певне сталі інтервальне значення у межах 38–44% на абсолютну суху речовину і зростання його вмісту характерне за феностадійного старіння рослин, яке супроводжується загальною реутилізацією азоту, інтенсивним зростання клітковини та лігнопохідних речовин [12, с. 5–7]. Тобто коливання показника має певне обмеження з позиції біохімічних перетворень у процесі їх фенологічного розвитку. Для редьки олійної цю особливість також підтверджено, оскільки з огляду на рівень міжрічного коефіцієнту варіації (3,1% за весняної та 3,0% за літньої сівби) формування показника характеризується певною сталістю фізіологічних реакцій з огляду на мінливі умов довкілля (Таблиця 1). Ця сталість підтверджена також показником варіювання у межах року досліджень з межовим інтервалом від 1,1% до 3,1% для весняного та від 1,8% до 4,5% для літнього строку сівби.

Таблиця 2

**Оцінка вмісту загального азоту та органічного вуглецю у листостебловій масі редьки олійної сорту Журавка на фазу цвітіння (ВВСН 64–67) для двох строків сівби, 2014–2023**

Роки	Вмісту загального азоту, % на абсолютно суху речовину		Вміст загального органічного вуглецю % на абсолютно суху речовину		Співвідношення C/N	
	$\bar{x}$	*SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
Весняний строк сівби						
2014	2,81	0,44	38,25	0,57	13,94	2,80
2015	2,41	0,31	40,22	0,81	16,86	1,81
2016	2,29	0,21	39,14	0,48	17,20	1,67
2017	2,55	0,30	41,12	0,65	16,28	1,83
2018	2,42	0,09	39,77	0,78	16,45	0,71
2019	3,07	0,13	37,14	1,14	12,12	0,86
2020	2,27	0,20	40,09	0,43	17,75	1,37
2021	2,04	0,13	37,95	0,73	18,67	1,44
2022	2,33	0,20	38,44	0,46	16,59	1,48
2023	2,72	0,16	38,89	0,42	14,34	0,96
$\bar{X}$	2,49	0,30	39,10	1,21	16,02	2,36
НІР <sub>05</sub>	0,34	–	0,98	–	2,30	–
Літній строк сівби						
2014	2,79	0,21	41,03	1,34	14,77	1,18
2015	2,38	0,26	39,82	1,31	16,86	1,60
2016	2,94	0,34	40,59	1,78	13,99	2,18
2017	3,18	0,32	38,51	0,79	12,21	1,35
2018	3,32	0,39	38,09	1,71	11,58	1,41
2019	2,58	0,26	40,87	0,82	15,97	1,73
2020	3,27	0,22	38,44	0,85	11,81	1,03
2021	3,09	0,24	41,29	0,76	13,42	1,06
2022	3,67	0,52	38,98	1,73	10,84	2,11
2023	3,43	0,50	39,15	0,89	11,58	1,51
$\bar{X}$	3,07	0,40	39,68	1,20	13,30	2,40
НІР <sub>05</sub>	0,49	–	1,82	–	2,05	–

\*SD – стандартне відхилення.

Кардинально відмінна ситуація із накопиченням загального азоту – міжрічне варіювання 12,1% (за річного на рівні 3,7%–15,7%) для весняного та 15,4% (річне 6,7%–14,6%) для літнього строку сівби. На нашу думку такий характер пояснюється теорією стресових білків, яка вказує на зростання вмісту білково-азотистих сполук у рослині з огляду на зростання стресовості періоду вегетації, пов'язану із

дефіцитом зволоження на фоні інтенсивного наростання середньодобових температур [16, с. 28].

При цьому у випадку редьки олійної у зростанні накопичення азоту є свої особливості. Так згідно даних Таблиці 1 та 2 зростання вмісту азоту відмічено як у варіанті вищих середньодобових температур за період від сходів до цвітіння, так і за умов достатнього вологозабезпечення. Останній факт пояснюється оптимізацією загальних ростових процесів та інтенсивне формування асиміляційного апарату, що у структурному співвідношенні рослин формують біохімічне їх портфолію в сторону підвищеної частки багатих на азотисті сполуки частин.

Таким чином, таке співвідношення формує бінарний ефект залежностей за зростання співвідношення C/N за відповідного поєднання температурного режиму та режиму зволоження. При цьому за значенням вмісту азоту та вмісту сирого протеїну у індексному співвідношенні 6,25 до загального вмісту азоту – редьку олійну слід віднести до високобілкових культур, цінних з позиції кормового забезпечення у різних форматах сумішок відповідно до проведених узагальнень для культури [10, с. 249–250].

З позиції величини інтервального значення відношення C/N (із врахуванням значення стандартного відхилення (SD)) у розрізі років досліджень 8,73–20,11 (за міжрічного варіювання 12,3% для весняного строку сівби та 15,4% для літнього строку сівби) (Таблиця 2) та спираючись на ряд останніх досліджень [17, с. 384–385; 18, с. 2–3; 19, с. 136; 20, с. 527] – біомаса редьки олійної цілком відповідає критеріям «кормова культура» та «сидеральна культура», яка прогнозовано забезпечуватиме швидкий розклад свіжої біомаси у ґрунті, особливо за умов достатнього вологозабезпечення на фоні високих середньодобових температур. Такі значення вказують також на значну частку листя та суцвіть у загальній сформованій біомасі редьки олійної особливо за літнього строку сівби.

Слід також відмітити що у випадку літнього строку сівби редьки олійної темпи розкладу, не дивлячись на нижче у середньому за весь період оцінки співвідношення C/N на 17%, будуть мати прогнозовано більш повільні темпи розкладу з огляду на істотно нижчий рівень температур на період безпосереднього використання біомаси у формі сидерату (Таблиця 1) що узгоджується із особливостями розкладу сидеральної маси за умов достатнього та нестійкого зволоження [3, с. 180–185].

Враховуючи що оптимальним є певне балансове значення C/N, яке забезпечує позитивне співвідношення між швидкістю розкладу, послідуєчого гумусо-накопичення та іммобілізації мінеральних елементів живлення, яке знаходиться в інтервалі від 13 до 25 залежно від погодніх умов, типу ґрунту та характеру використання відповідної покривної культури [19, с. 137] та позитивно корелює із даним співвідношенням у класичному гної ВРХ 16.6–25.0 [21, с. 1243–1245] – біомаса сформована за весняної сівби мала вищу ступінь відповідності вказаним інтервалам для сидерального використання. Проте відповідно до рекомендацій [10, с. 197–205, 249–252] її застосування можна оптимізувати за рахунок використання редьки олійної у сумісних посівах із злаковими та бобовими культурами, а також застосовувати додаткові рослинні матеріали для комбінованої сидерації (до прикладу солома). Слід окремо оцінити за критерієм C/N придатність біомаси редьки олійної для анаеробної ферментації. З огляду на те, що оптимальне значення C/N для анаеробної дигестації біомаси у технологіях отримання біогазу знаходиться у межах 20–30 з інтервалом можливих технологічних відхилень у межах від 10 до 30 [22, с. 25–28]. При цьому за низьких значень співвідношення C/N

істотно зростає концентрація амонійної форми азоту та інгібується мікробологічний процес анаеробної ферментації [23, с. 74–78].

Слід відмітити, що за середніми значеннями C/N листостеблова маса редьки олійної лише в окремі роки наближається до оптимізованого інтервалу співвідношення. На підставі цього найбільш доцільним варіантом для редьки олійної буде використання попередньо підготовленої біомаси як за рахунок силосування, так і за рахунок кооферментації свіжої маси з іншими рослинними чи органічними ресурсами (відповідно до технологічних рішень запропонованих [23, с. 78–80], а також застосування стартового інокулюму для гарантування оптимального старту процесу з огляду на ефективність таких технологічних застосувань детально описаних у наших попередніх досліджень [24, с. 950–955]. Нами доведено при цьому, що силосна ферментація листостеблової маси редьки олійної дозволяє підвищити показник співвідношення C/N на 3–6 одиниць залежно від фенологічної фази рослин при формуванні силосної маси.

Враховуючи доведений факт, що у процесі фенологічного розвитку редьки олійної від фази цвітіння до фази плодоношення закономірно знижується вміст азоту за менш вираженого зниження органічного вуглецю [10, с. 470–474] значення C/N прогнозовано матиме вузький оптимальний інтервал для біогазової ферментації листостеблової маси редьки олійної від фази повного цвітіння (ВВСН 67–70) до фенофази початку плодоношення (ВВСН 72–75).

Наявність міжрічної варіації показника C/N вказує на наявність системи залежностей між його значенням та базовими показниками гідротермічного режиму періоду вегетації. Результати аналізу таких залежностей представлено у Таблиці 3.

Таблиця 3

**Розмах значень коефіцієнту детермінації ( $d_{xy}$ ) залежностей показника співвідношення C/N у листостебловій масі редьки олійної сорту Журавка від базових показників оцінки гідротермічного режиму періоду вегетації (%), (на підставі облікових даних у системі варіанти–повторення–роки за період 2014–2023 рр.**

1*	2	3	4	5	6	7	8	9
1	16,0–21,8	24,0–32,9	82,8–90,6	87,8–92,2	82,8–88,4	12,3–20,9	23,0–30,5	16,8–22,8
2		0,04–2,15	50,4–56,9	38,4–44,5	50,4–55,8	60,8–69,7	39,7–47,4	65,6–70,4
3			8,4–14,2	13,7–17,2	8,4–12,8	22,1–30,9	15,2–21,5	25,0–32,5
4				92,5–98,0	90,6–98,7	51,8–59,3	32,5–40,4	42,3–50,8
5					92,3–98,0	70,6–77,2	33,6–40,5	53,3–58,9
6						46,2–52,8	22,1–30,9	38,4–62,5
7							24,0–29,2	79,2–85,5
8								84,6–90,2

\*Показники: 1 – Сума опадів, мм; 2 – Середньодобова температура повітря, °С; 3 – Відносна вологість повітря, %; 4 – ГТК; 5 –  $I_n$ ; 6 – Кз; 7 – Загальний вміст азоту (у % на абсолютно суху речовину); 8 – Загальний вміст органічного вуглецю (у % на абсолютно суху речовину); 9 – Співвідношення C/N.

На підставі отриманих інтервалів розмаху значень  $d_{xy}$  можна сформулювати факторну модель формування показника C/N у порядку значимості факторів впливу: середньодобова температура повітря (обернена направленість

формування показника при середньому  $d_{xy} = 68,7\%$ ) – індекс посушливості (обернена направленість формування показника при середньому  $d_{xy} = 56,9\%$ ) – коефіцієнт зволоження (обернена направленість формування показника при середньому  $d_{xy} = 53,7\%$ ) – ГТК (обернена направленість формування показника при середньому  $d_{xy} = 47,5\%$ ) – сума опадів (обернена направленість формування показника при середньому  $d_{xy} = 20,3\%$ ).

**Висновки і перспективи подальших досліджень.** Проведений багаторічний цикл досліджень засвідчив багатокомпонентну цінність листостеблової маси як за весняного, так і за літнього строку сівби у плані її використання як кормової культури, сидерату та потенційного кандидата для системи анаеробної ферментації з отриманням біогазу на підставі розмаху значень співвідношення C/N.

Деталізована інтерпретація цього співвідношення у приміненні до оптимальних технологічних регламентів багатокомпонентного використання покривних та проміжних культур сівозміни (насихуючі посіви) дозволяє рекомендувати редьку олійну як ефективного кандидата в одинарному чи сумішевому застосуванні для варіантів біоорганічних технологій удобрення та відновлення ґрунтів а також із певними технологічними застереженнями для використання на біоенергетичні цілі.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Лихочвор В. В. Добривна альтернатива. *Зерно*. 2008. № 3. С. 5–10.
2. 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.
3. Цицюра Я.Г., Неїлик М.М., Дідур І.М., Поліщук М.І. Сидерація як базова складова біологізації сучасних систем землеробства. Монографія. Вінниця: Видавць ТОВ «Друк», 2022. 770 с.
4. Паламарчук В.Д., Коваленко О.А., Кричковський В.Ю. Підвищення ефективності біогазових комплексів за рахунок використання дигестату під час вирощування сільськогосподарських та овочевих культур. *Зрошуване землеробство: міжвідомчий тематичний науковий збірник*. 2020. Вип. 73. С. 95–101.
5. Green Manure Global Market Report 2024 2023. By Type (Leguminous, Non Leguminous), By Source( Dhaincha, Sesbania, Sunhemp, Other Sources), By Application (Grains And Cereals, Pulses And Oilseeds, Fruits And Vegetables, Other Applications) – Market Size, Trends, And Global Forecast 2024–2033. URL: <https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/green-manure-global-market-report>. (дата звернення 22.04.2022).
6. Писаренко В.М. Антонєць А.С., Лук'яненко Г.В. Система органічного землеробства агроєколога С.С. Антонця. Полтава, 2016. 131 с.
7. 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.
8. Чмель О.П., Круподєря Ю.О., Бондар І.М. Сидерація як альтернатива органічним добривам і засіб збільшення продуктивності агроценозів. *Вісник ХНАУ. Серія: «Рослинництво, селекція і насінництво, плодоовочівництво і зберігання»*. 2019. Вип. 2. С. 35–44.
9. Балаєв А., Тонха О., Піковська О., Гаврилюк М., Шеметун К. Гумусованість і фізико-хімічні властивості чорноземів Лісостепу за мінімізації обробіток і біологізації системи удобрення. *Вісник аграрної науки*. 2020. Вип. 98 (11). С. 24–31.
10. Цицюра Я.Г., Цицюра Т.В. Редька олійна. Стратегія використання та вирощування: монографія. Вінниця: ТОВ «Нілан ЛТД», 2015. 624 с.

11. Сайко В.Ф. Особливості проведення досліджень з хрестоцвітими олійними культурами. К.: «Інститут землеробства НААН», 2011. 76 с.
  12. Зоохімічний аналіз кормів. Хімічний та атомно-адсорбційний аналіз кормів: Навчальний практикум / О.О. Лавринюк, В.А. Бурлака; за ред. В.А. Бурлаки. Житомир, 2016 110 с.
  13. AOAC. Official Method of Analysis: Association of Analytical Chemists. 19th Edition, Washington DC, 2012. P. 101–130.
  14. Snedecor G.W., Cochran W.G. Statistical Methods, 8th Edition. Wiley-Blackwell, 1991. 524 p.
  15. Tsytsiura Y.H. Modular-vitality and ideotypical approach in evaluating the efficiency of construction of oilseed radish agrophytocenosises (*Raphanus sativus* var. *oleifera* Pers.). *Agraarteadus*. 2020. 31(2). P. 219–243.
  16. Колупаєв Ю.Є. Стресові реакції рослин: молекулярно-клітинний рівень. Харків, Ліра. 2001. 171 с.
  17. Natera J.F.Z., López, P.M.G, Jimenez, C.E.A., Aguilar, F.B.M., Solís, H.V., Hernández, I.Z. Decomposition and nitrogen mineralisation of two wild lupins (Leguminosae) species with potential as green manures. *Journal of Central European Agriculture*. 2022. Vol. 23. Issue 2. P. 384–390.
  18. Dorissant L., Brym Z. T., Swartz S. Residue decomposition dynamics in mixed ratios of two warm-season cover crops. *Agrosystems, Geosciences & Environment*. 2022. № 5. e20311.
  19. Silva J.H.C.S., Barbosa A., Gomes S.D. Aquino S.I., Silva J.R. 2023. Dynamics of plant organic matter decomposition in different agricultural landscapes. *Revista Caatinga*. Vol. 36. Issue 1. P. 135–144.
  20. Stegarescu G., Escuer-Gatius J., Soosaar K., Kauer K., Tõnutare T., Astover A., Reintam E. Effect of Crop Residue Decomposition on Soil Aggregate Stability. *Agriculture*. 2020. Vol. 10. Issue 11. P. 527–245.
  21. Pan D., Tang J., Zhang L., He M., Kung, C. The impact of farm scale and technology characteristics on the adoption of sustainable manure management technologies: Evidence from hog production in China. *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 280. P. 1243–1250.
  22. Herrmann C., Idler C., Heiermann M. Biogas crops grown in energy crop rotations: Linking chemical composition and methane production characteristics. *Bioresource Technology*. 2016. Vol. 206. P. 23–35.
  23. Choi Y., Ryu J., Lee S.R. Influence of carbon type and carbon to nitrogen ratio on the biochemical methane potential, pH, and ammonia nitrogen in anaerobic digestion. *Journal of Animal Science and Technology*. 2020. Vol. 62. № 1. P. 74–83.
  24. 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.
-