

УДК 635.15:631.5

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.137.39>

ОЦІНКА ШВИДКОСТІ РОЗКЛАДУ СИДЕРАЛЬНОЇ МАСИ РЕДЬКИ ОЛІЙНОЇ У ҐРУНТІ НА ПІДСТАВІ ЗАСТОСУВАННЯ БАЗОВИХ СПІВВІДНОШЕНЬ РЯДУ БІОХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ

Цицюра Я.Г. – к.с.-г.н.,

доцент кафедри землеробства, ґрунтознавства та агрохімії,

Вінницький національний аграрний університет

Сучасні агротехнологічні виклики зумовлені зміною фіноутворення на основні агрохімікати та їх похідх органічних добрив, руйнування звичної сільськогосподарської логістики спричинив у світовому вимірі зміну стратегії систем удобрення. Нові підходи у цій стратегії передбачають використання різних варіантів біоорганічних технологій, які ґрунтуютьс на використанні сидерів як одновидових, так і в полівидових посівах. Такий стратегічний напрямок відповідає пріоритетним стратегіям ґрунтобереження та відновлення деградованих ґрунтів на принципах кліматичної нейтральності зкмовлюють імплементацію системи використання у сівозміні насичуючих (проміжних) культур багатозільового використання. Такі підходи зумовлюють пошук асортименту адаптованих видів рослин для їх використання у різних технологічних варіантах сидерації. Разом із тим, важливим чинником ефективності та доцільності сидерації є оцінка темпів ґрунтової іммобілізації сидеральної маси з огляду на її біохімічний склад та гідротермічні умови. З цією метою було проведено багаторічні системні дослідження оцінки сидеральної маси редьки олійної весняного строку сівки для варіанту літньої проміжної сидерації на ефективність застосування, оцінку швидкості ґрунтової іммобілізації та з'ясування основних чинників, які визначають даний процес.

Дані наведено для сорту редьки олійної Журавка. Для обліку показників біохімічного складу листостеблової маси на фазу цвітіння та оцінки гідротермічних режимів її формування було використано адаптовані до європейських практик методики. Встановлено, що за базовими критеріями вмісту клітковини та її похідних, співвідношення вмісту органічного вуглецю до загального вмісту азоту, зольністю за показниками вмісту фосфору, калію, кальцію, сірки, вмісту карбогідратів та загальної біохімічної якості сидеральна маса редьки олійної не поступається традиційним ширококовзживаним видам хрестоцвітних у регіоні досліджень (таких як ріпак ярий і озимий, гірчиця біла) та була віднесена до сидерального ресурсу з високим ефективним потенціалом та середніми темпами розкладу за короткий агротехнологічний 30-добюовий період на рівні 28–45%. Визначено, що основними критеріями, які визначають швидкість ґрунтової іммобілізації сидеральної маси редьки олійної обернено формуючого характеру із рівнем детермінації в інтервалі 23–81% є вміст клітковини та її дивергентних похідних у тому числі їх співвідношення із вмістом геміцеллози, співвідношення C/N. Зростанню темпів розкладу сприяє зростання вмісту БЕР, карбогідратів та загальної якості рослинної маси на фоні оптимізації гідротермічного режиму за критерієм гідротермічного коефіцієнту за рівня комплексної детермінації 19–45%.

Ключові слова: редька олійна, сидерація, біохімічний склад, швидкість розкладу, гідротермічні показники вегетації.

Tsytsiura Ya. G. Estimation of the decomposition rate of oilseed radish green manure in the soil based on the use of basic ratios of a number of biochemical parameters

Modern agrotechnological challenges are caused by the change in fertilizer production to basic agrochemicals and their organic fertilizer derivatives, and the destruction of conventional agricultural logistics has led to a change in the strategy of fertilizer systems globally. New approaches in this strategy involve the use of different variants of bioorganic technologies based on the use of green manure in both single-species and multi-species crops. This strategic direction is in line with the priority strategies of soil conservation and restoration of degraded soils on the principles of climate neutrality, which require the implementation of a system of using saturating

(intermediate) multipurpose crops in crop rotation. Such approaches necessitate the search for an assortment of adapted plant species for their use in various technological options for green manure. At the same time, an important factor in the effectiveness and feasibility of green manure is the assessment of the rate of soil immobilization of the green manure mass, taking into account its biochemical composition and hydrothermal conditions. For this purpose, long-term systematic studies were conducted to assess the green manure mass of oil radish of spring sowing for the variant of summer intermediate green manure for the effectiveness of application, assessment of the rate of soil immobilization and clarification of the main factors that determine this process.

The data are given for the oil radish variety Zhuravka. Methods adapted to European practices were used to take into account the biochemical composition of the leaf-stem mass at the flowering phase and to assess the hydrothermal regimes of its formation. It was found that according to the basic criteria of fiber and its derivatives, the ratio of organic carbon to total nitrogen, ash content in terms of phosphorus, potassium, calcium, sulfur The green manure mass of oil radish is not inferior to the traditional widely used cruciferous species in the region of research (such as spring and winter rape, white mustard) and was classified as a green manure resource with high effective potential and average decomposition rates for a short agrotechnological 30-day period at the level of 28–45%. It has been determined that the main criteria that determine the rate of soil immobilization of the green manure mass of oil radish of reverse forming nature with a level of determination in the range of 23–81% are the content of fiber and its divergent derivatives, including their ratio with the content of hemicellulose, C/N ratio. The growth of decomposition rates is facilitated by the increase in the content of NfE, carbohydrates and the overall quality of plant mass against the background of optimization of the hydrothermal regime according to the criterion of the hydrothermal coefficient at a level of complex determination of 19–45%.

Key words: oilseed radish, green manure, biochemical composition, decomposition rate, hydrothermal parameters of vegetation.

Постановка проблеми. Сидерація залишається на сьогодні одним із потужних альтернатив традиційним системам удобрення агро-мінерального характеру, забезпечуючи компенсацію класичних органічних добрив та максимально моделюючи природній процес поповнення органіки в природних та штучностворених агрофітоценозах [1, с. 1244].

Сидеральні системи удобрення в Україні набувають все більшої популярності по ряду причин: наростання дефіциту класичних органічних добрив, зміна вектору агротехнологій у напрямку органічних та біоорганічних, зростання вартості класичних агрохімікатів в тому числі і різних видів гною на фоні загального здешевлення вартості основної сільськогосподарської продукції [2, с. 5–8]. Не дивлячись на відносно ґрунтовну опрацьованість технологічних питань сидерації із використанням як добре відомих, так і малопоширених сидеральних культур та їх сумішок – залишається багато вузьких технологічних питань, які потребують додаткового вивчення та узагальнення [3, с. 48–49]. Серед важливих аспектів, які визначають ефективність безпосереднього використання сидеральної маси особливе місце займають питання швидкості іммобілізації рослинної маси в ґрунті та інтенсивності засвоєння вивільнених компонентів [4, с. 1–2]. Вказані питання впливають на такі агротехнологічні рішення у сфері застосування сидератів як строковість сидерації, феностадійність використання сидеральних культур, сприятливість едафічних та ґрунтово-кліматичних чинників, тривалість післясидерального періоду щодо строків посіву основних культур та необхідність у додатковому їх мінеральному удобренні тощо [5, с. 2]. Невирішеність з позиції наукового узагальнення вказаних питань зумовлює суттєве зниження ефективності застосування сидерації у плані ефективної трансформації сидеральної маси у ґрунті профілі особливо за умов нестійкого зволоження, неправильно вибраного строку сидерації до посіву основної культури та навіть негативного впливу наслідків розкладення сидеральної маси через підняття температури

грунту, розвитку бактеріального комплексу анаеробної ферментації та гнило-сно-сапрофітного типу [6, с. 39–40]. У результуючому підсумку це призводить до процесів зниження схожості основної передсидеральної культури, її переростання та послідуочого їх вилягання у варіантах літньо-осінньої сидерації під озими види у сівозміні, а також формування несприятливого мікробіологічного середовища деструктивного типу [7, с. 15–16].

З огляду на окреслені проблеми важливим є з'ясування частини окреслених питань у плані застосування поширених варіантів сидерації на такій культурі, яка набуває сьогодні популярності як культура багаточільового використання – редьки олійної (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.) [8, с. 5–7].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання вивчення стабільності розкладу сидеральної маси, швидкості її розкладу у ґрунтовому профілі поставлені на вивчення в багатьох країнах світу з позиції різноманітних критеріїв від строків застосування сидерації до інтенсивності засвоєння продуктів розкладу та мінералізації сидеральної маси [9, с. 2–3]. При цьому за результатами останніх десяти років таких досліджень критерійні аспекти, які детермінують ці процеси зведено до трьох основних складових: біологічний вид сидеральної культури (а саме належність сидерату до певного біологічного виду), строк сидерації у єдиному аналітичному комплексі ґрунтово-кліматичних умов періоду сидерації та після сидераційного етапу та біохімічні показники самої сидеральної маси [8, с. 7]. З переліку наведених головних критеріїв ефективності сидерації багато дослідників акцентують увагу на фундаментальній важливості критерію біохімічного складу застосованої у технологічному процесі листостеблової маси [10, с. 299–300]. У продовження цього наголошується що значущим в оцінці є не сама величина відповідного біохімічного показника, а відповідні співвідношення цих показників, оскільки процес розкладу рослинних тканин у ґрунті є складним мультифакторним процесом, який діє на рослинні рештки в комплексі не виокремлюючи якийсь біохімічний параметр. За останніми дослідженнями ці співвідношення стосуються в основному показників органічного вуглецю та загального азоту, органічного вуглецю фосфору та сірки, азотистих сполук та клітковини (включаючи похідні клітковини), загальний вміст карбогідратів тощо [11, с. 39–40]. На підставі вказаних досліджень було сформовано загальні прогностичні оцінки швидкості розкладу рослинної маси у ґрунті за типового гідротермічного режиму територій та агрохімічного потенціалу поширених ґрунтів. Не дивлячись на такі моделі їх застосування саме до редьки олійної для умов нестійкого зволоження на сірих лісових ґрунтах не застосовувалось у науковій практиці що потребує відповідного наукового узагальнення.

Метою дослідження було провести загальну прогностичну оцінку швидкості розкладу листостеблової маси редьки олійної за двох типових у зоні досліджень строків її сидерального використання та співставити отримані результати із фактичними темпами розкладу використаної сидеральної маси.

Матеріали та методи дослідження. Дослідження питань поставлених на вивчення проводили впродовж 2019–2023 рр. на дослідному полі Вінницького національного аграрного університету (N 49°11'31", E 28°22'16") на сірих лісових ґрунтах. Середній агрохімічний потенціал дослідного поля у межах ротації досліджу за вказаний період оцінок: вміст гумусу 2,75% легкогідролізованого азоту 77,8 мг/кг ґрунту, рухомого фосфору 169,5 мг/кг ґрунту, обмінного калію 105,4 мг/кг ґрунту, $pH_{\text{кел}}$ 5,7.

Об'єктом вивчення були три сорт редьки олійної Райдуга, Журавка та Либідь широко поширені у зоні досліджень. Сорти комбінованого використання як для

отримання листостеблової маси, так і насіння. З врахуванням подібності отриманих результатів експериментальні дані та їх аналіз представлено для сорту Журавка. Листостеблову масу для досліджень було отримано на варіанті ранньовесняного строку сівби (перша–друга декада квітня, феностроково відповідав літньому варіанту можливої сидерації у фазі цвітіння (ВВСН 64–67) на другу–третю декаду червня). Потенційна сидеральна маса була отримана з варіанту неудобреного фону з густотою стояння 2,0 млн рослин/га за звичайного рядкового способу сівби (міжряддя 15 см).

Дослідні ділянки було сформовано у чотирьохразовій повторності методом дрібноділянкової рендомізації (загальна площа ділянки 35 м² облікова площа ділянки 25 м²).

Сформовану надземну біомасу рослин рідьки олійної відбирали на фазу повного цвітіння (ВВСН 64–67) у 4 рендомізованих ділянках методом пробних майданчиків площею 1 м² у кожному повторенні (16 ділянок у підсумку). Для однотипового співставлення листостеблову масу переводили у еквівалент виходу сухої речовини за рахунок визначеного місту сухої речовини у зразках листостеблової маси яку у свою чергу визначали сушінням в печі при 105 °С, а потім озолення висушеного зразка при 550 °С [12, с. 14–18].

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, а саме:

- вмісту загального азоту за методом К'ельдаля проводили на аналізаторі KjeLROC Kd-310 (ISO 17025) [13, с. 15–30; 14, с. 101–130];

- вміст загального органічного вуглецю визначали за допомогою лабораторного аналізатора загального органічного вуглецю серії TOC-LCPH за стандартним протоколом низькотемпературного термокаталітичного окислення рослинного матеріалу [13, с. 15–30; 14, с. 101–130];

- співвідношення C/N розраховувалося як відношення загального органічного вуглецю до загального вмісту азоту;

- якість рослинної маси визначали відповідно до методики Quemada та Cabrega [15, с. 472];

- вміст клітковини проводили згідно офіційного методу АОАС 978.10 гравіметрично як залишок, що залишається після кислотного та лужного розщеплення [14, с. 130–150];

- нейтрально-детергенту клітковину (НДК) визначалося за допомогою офіційного методу АОАС 2002-04 при нагріванні [14, с. 130–150; 16];

- кислотно-детергентну клітковину (КДК) визначали гравіметрично як залишок, що залишається після екстракції кислотним детергентом за офіційним методом АОАС 973.18 [14, с. 130–150; 16];

- аналіз тканин на вміст лігніну (у формі кислотно-детергентного лігніну (КДЛ)) проводили за методом АОАС Official Method 973.18 [14, с. 130–150; 16];

- вміст целюлози визначали як різницю між КДК та КДЛ;

- вміст геміцелюлози визначали як різницю між НДК та КДК відповідно до методу Van Soest [16];

- вміст карбогідратів визначали за сумою безазотистих екстрактивних речовин (БЕР) та клітковини [16];

- безазотисті екстрактивні речовини (БЕР) розраховували як різницю між вмістом 100% сухої речовини та відповідним вмістом сирого протеїну, сирій клітковини, сирого жиру та сирій золи [16];

- вміст загального фосфору та калію в рослинах згідно офіційних методів АОАС Official Method 931.01 та АОАС Official Method 956.01 [14, с. 180–193];
- визначення кальцію у рослинному матеріалі проводили комплексметричним методом (у інтерпретації Nielsen [17, с. 18–23]);
- визначення вмісту сірки визначали у відповідності до АОАС 923.01-1923 [14, с. 193–207].

Для вивчення розкладання покривних культур у ґрунті використовували метод сітчастих мішків [18, с. 1064; 19, с. 778–779; 20, с. 1736–1737]. Сітчасті мішки (60 мм поліамідна нейлонова сітка з порами розміром 74 μm) та розміром готового мішка становив 20x15 см. Для вивчення динаміки розкладення сидеральної маси приблизно 100-грамовий зразок свіжої листостеблової маси редьки олійної зважували і поміщали в сітчасті мішки з рівнем подрібнення що відповідав такому у звичайних технологіях подрібнення маси безпосередньо перед сидерацією (відрізки до 2–3 см). У ґрунт на глибину 20 см у горизонтальній площині було розкладено 20 мішечків (по 5 з кожної повторності для формування досліду у чотирьохразовій кратності досліду). Мішечки маркувались наземним дротовим кольоровим ідентифікатором для оперативного знаходження і супутніх ґрунтових спостережень. Сітчасті мішки виймали 10, 20 та 30 діб після розміщення (для всіх років досліду період з 11 липня по 9 серпня), і таким чином отримували 3 значення залишкової ваги. Відмивання зразків проводили методом декантації, водою відокремлювали рослинні рештки від повністю розкладеної маси, зливаючи через сито з діаметром отворів 0,25 мм. Швидкість розкладу сидеральної маси та кумулятивний показник швидкості розкладу розраховували відповідно до методики Kazakou та ін.[21, с. 1154].

Аналіз погодних умов у період вирощування редьки олійної та у період після модельного сидераційного застосування (липень–жовтень) 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.

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

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

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

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

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

де: t – середня температура повітря °С; a – середня вологість повітря, %.

Узагальнююча оцінка гідротермічних режимів періоду вегетації редьки олійної у межах років досліджень представлена у таблиці 1 та на рис. 1. Враховуючи оптимальні параметри для ростових процесів рослин редьки олійної відповідно до наших попередніх багаторічних оцінок [22, с. 220–221] роки досліджень було

розміщено у наступному порядку зростання сприятливості ростових процесів для редьки олійної: 2021–2022–2023–2020–2019. З огляду на обґрунтуванням щодо оптимальних параметрів для декомпозиції сидеральної маси хрестоцвітих видів рослин [23, с. 2–3] роки досліджень можна розмістити у такому ранжованому ряду зростання сприятливості розкладу сидеральної маси редьки олійної у ґрунті: 2020–2019–2022–2023–2021.

Таблиця 1

Показники гідротермічного забезпечення періоду вегетації редьки олійної сорту Журавка та періоду формування її сидеральної маси, 2019–2023 рр.

Рік	Сума опадів, мм(IV–VI)	$t_{\text{ср.}}^{\circ\text{C}}$ (IV–VI)	Місяці періоду вегетації								
			IV			V			VI		
			ГТК	$I_{\text{н}}$	K_3	ГТК	$I_{\text{н}}$	K_3	ГТК	$I_{\text{н}}$	K_3
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

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 [24, с. 12–32]. Ступінь інтегрального зв'язку з основними показниками базових факторів системи дослідження оцінювали за значенням коефіцієнта детермінації зв'язку (рівняння 5):

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

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

Виклад основного матеріалу дослідження. За результатами оцінки біохімічного складу листостеблової маси редьки олійної (табл. 2) визначено її належність до групи протеїново-клітковинної групи біомаси з високими біофумігаційними властивостями.

Останній чинник зумовлений наявністю понад 0,3% у перерахунку на суху речовину сірки, яка позитивно у хрестоцвітих корелює із глюкозинолатами та їх похідними у результаті розкладу маси у ґрунті з огляду на ряд оцінок та досліджень [23, с. 3–4; 25, с. 414–415; 26, с. 212–213].

При цьому високий вміст клітковини (середньобагаторічний показник 21,29% у перерахунку на суху речовину) та супутній високий вміст її дивергентних похідних – НДК, КДК та КДЛ – у співвідношенні 1:0,68:0,11 (при середньому співвідношенні вмісту целюлози до геміцелюлози 2:1) з огляду на ряд досліджень [27, с. 548–549; 28, с. 270–271] – забезпечує специфічні темпи її розкладу з чіткими істотними відмінностями для стеблової та листової частини. Це уподібнює її з такими культурами як ріпак та гірчиця біла [23, с. 4–5; 29, с. 8–10] з позиції сидерального використання проте якісно виділяє за рахунок істотно нижчої лігнізації листостеблової маси на фазу цвітіння порівняно з ріпаком ярим та тією ж гірчицею білою, що з позиції

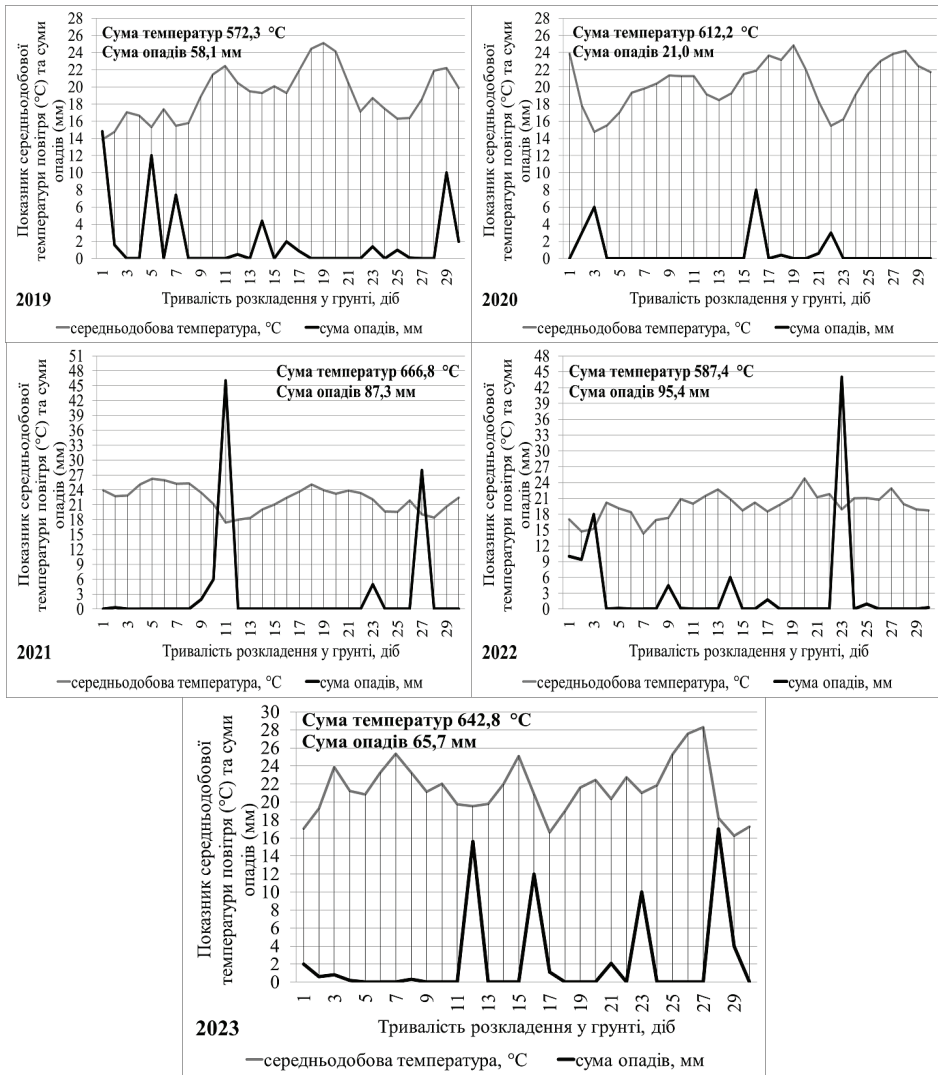


Рис. 1. Динаміка гідротермічного режиму за період дослідження розкладу у ґрунті листостеблової маси редьки олійної, 2019–2023 рр.

біологічно-властивого процесу для хрестоцвітих видів сидеральних рослин до швидкого старіння із зростанням клітковини, механічних тканин за інтенсивного зниження облистяності [8, с. 22–24] забезпечує можливість більш тривалого феностадійного використання редьки олійної як сидерату. Позитивними якостями сидеральної маси редьки олійної є висока зольність з огляду на високий вміст фосфору (у середньому понад 0,4%), калію (понад 3,0%) та кальцію (близько 1,0%). При цьому накопичення основних елементів живлення у сформованій біомасі редьки олійної співставне із їх концентрацією відміченою у Таблиці 3. Встановлено середньобагаторічне

Таблиця 2

Хімічний склад листостеблової маси редьки олійної на фазу цвітіння (ВВСН 64–67), 2019–2023 рр.

Рік	Вміст клітковини, % на суху речовину		НДК, % на суху речовину		КДК, % на суху речовину		КДЛ, % на суху речовину		Загальний вміст органічного вуглецю, % на суху речовину		Загальний вміст азоту (N), % на суху речовину			
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD		
2019	19,17	0,87	34,02	0,19	22,19	0,25	3,58	0,11	37,14	1,14	3,07	0,13		
2020	20,97	0,83	35,39	0,44	24,97	0,39	3,37	0,15	40,09	0,43	2,27	0,20		
2021	21,83	0,43	36,41	0,25	25,17	0,47	4,02	0,07	37,95	0,73	2,04	0,13		
2022	22,19	0,58	37,58	0,57	25,91	0,21	3,81	0,18	38,44	0,46	2,33	0,20		
2023	22,29	0,87	35,89	0,39	24,11	0,33	3,96	0,13	38,89	0,42	2,72	0,16		
HP ₀₅	1,05	–	0,85	–	0,87	–	0,14	–	0,92	–	0,31	–		
Рік	Вміст целюлози (Ц) % на суху речовину		Вміст геміцелюлози (ГЦ), % на суху речовину		Вміст фосфору (P), % на суху речовину		Вміст калію (K), % на суху речовину		Вміст кальцію (Ca), % на суху речовину		Вміст сірки (S), % на суху речовину		БЕР, % на суху речовину	
	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
2019	18,61	11,83	0,52	0,05	2,25	0,11	0,81	0,18	0,35	0,12	46,11	1,31		
2020	21,60	10,42	0,63	0,08	4,08	0,16	0,92	0,07	0,35	0,05	48,68	1,90		
2021	21,15	11,24	0,48	0,09	2,87	0,37	0,93	0,17	0,39	0,05	49,22	1,17		
2022	22,10	11,67	0,51	0,03	3,03	0,10	0,89	0,10	0,41	0,08	47,11	1,20		
2023	20,15	11,78	0,61	0,06	3,19	0,31	0,82	0,07	0,34	0,09	43,09	1,33		
HP ₀₅	0,09	0,07	0,11	–	0,28	–	0,17	–	0,10	–	0,71	–		

*SD – стандартне відхилення.

співвідношення вмісту та акумуляції у надземній біомасі N:P:K у такому виразі (з індикацією розмаху значень): 1.00 (0.65–1.59):0.24 (0.18–0.40):1.39 (1.04–2.05). Враховуючи високі позитивні кореляції зольності сидеральної маси при високих темпах її розкладу з активним зростанням доступних форм азоту, фосфору та калію в орному горизонті ґрунтового профілю (з огляду на оцінки [32, с. 2–3]).

За результатами представлених оцінок листостеблову масу редьки олійної також можна віднести до рослинного матеріалу із стабільним загальним вмістом органічного вуглецю за досить вузького інтервалу показника 38–42% на абсолютну суху речовину, що на фоні високого загального вмісту азоту із середнім вмістом 2,5–3,1% на абсолютно суху речовину формує масу із низьким співвідношенням C/N від 12 до 19 одиниць (табл. 3).

Таблиця 3

Основні показники якості надземної біомаси редьки олійної, 2019–2023 рр.

Рік	Співвідношення C/N		Співвідношення C/P		Співвідношення C/K		Співвідношення C/Sa		Співвідношення C/S		Співвідношення Ц/ГЦ		Співвідношення НДК/КДЛ		Співвідношення КДК/КДЛ	
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
2019	12,1	0,86	72,1	8,90	1,36	0,11	3,79	0,23	115,3	35,4	1,57	0,11	9,50	0,18	6,20	0,19
2020	17,7	1,37	64,3	7,11	0,56	0,08	2,47	0,19	116,7	19,1	2,07	0,18	10,50	0,15	7,41	0,22
2021	18,7	1,44	80,8	12,41	0,71	0,12	2,19	0,27	98,6	14	1,88	0,10	9,06	0,14	6,26	0,18
2022	16,6	1,48	75,5	4,02	0,77	0,09	2,62	0,17	96,6	18,9	1,89	0,15	9,86	0,10	6,80	0,19
2023	14,3	0,96	64,2	6,73	0,85	0,11	3,32	0,21	120,7	31,8	1,71	0,14	9,06	0,19	6,09	0,16
Рік	Співвідношення НДК/Ц		Співвідношення КДК/Ц		Співвідношення КДЛ/Ц		Співвідношення НДК/ГЦ		Співвідношення КДК/ГЦ		Співвідношення КДЛ/ГЦ		Карбогідрати (СН), % на суху речовину		Якість рослинної маси, % на суху речовину	
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
2019	1,83	0,19	1,19	0,11	0,19	0,10	2,88	0,12	1,88	0,19	0,30	0,09	65,3	1,72	84,6	0,91
2020	1,64	0,15	1,16	0,15	0,16	0,08	3,40	0,17	2,40	0,16	0,32	0,10	69,7	1,44	86,2	1,08
2021	1,72	0,18	1,19	0,17	0,19	0,07	3,24	0,15	2,24	0,14	0,36	0,11	71	0,82	84,7	1,27
2022	1,70	0,21	1,17	0,12	0,17	0,10	3,22	0,14	2,22	0,14	0,33	0,07	69,3	1,03	84,5	1,12
2023	1,78	0,15	1,20	0,12	0,20	0,09	3,05	0,18	2,05	0,18	0,34	0,12	65,4	1,72	84,3	1,43

*SD – стандартне відхилення.

Вказане низьке співвідношення з огляду на висновки ряду досліджень [21, с. 1153–1155; 30, с. 464–465; 31, с. 183] забезпечує потенційно швидкі темпи розкладу 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, що узгоджується із висновками [33, с. 228] щодо темпів розкладу різних частин хрестоцвітих видів рослин.

Разом із тим таке співвідношення вимагає оптимізації за використання редьки олійної на легких і малородючих ґрунтах за рахунок сумісної сидерації із злаковими та бобовими видами рослин.

Важливим також є оцінка співвідношення C/P яке є певним вираженням співвідношення між ґрунтовою іммобілізацією рухомих форм фосфору та ефективністю його поповнення за рахунок внесеної у ґрунт біомаси. Дане співвідношення впливає на характер мікробіологічного розкладу сидеральної маси особливо на ґрунтах збіднених на рухомі форми фосфору. При цьому, оптимальним варіантом сидерального застосування сформованої біомаси за даними [34, с. 476–477] є високий вміст фосфору у ній за низького показника співвідношення C/P. За

цим критерієм листостеблова маса редьки олійної відповідає необхідному диспаритету між вмістом фосфору та його співвідношення до органічного вуглецю із середньобагаторічним значенням, який не перевищує 70 одиниць за міжрічного варіювання 15.3%.

Важливим для оцінки біофумігаційного потенціалу рослин є співвідношення C/S, яке є відносним показником наявності глюкозинолатів у біомасі рослин, оскільки за біохімічним складом частина хімічних сполук віднесених до даної групи речовин є сірковмісними. Встановлено, що ефективний варіант сидерації із загальним ефектом біофумігації можливий при співвідношення C/S на рівні не вище 120 [35, с. 18–19]. За нашими оцінками його середньобагаторічне значення на рівні 109,6 одиниць відповідає вимогам ефективного процесу біофумігації за сидерального використання сформованої біомаси редьки олійної.

Підтверджено також високу цінність сформованої біомаси редьки олійної і з позиції співвідношень похідних клітковини, целюлози і геміцелюлози. В усередненому підсумку максимальне значення цього показника не перевищує значення у 2,5 одиниці, що підтверджує згадувану істотну відмінність у розкладі стеблової та асиміляційної частини рослин, а з іншого боку – дозволяє вести мову про пролонгований ефект застосування сидеральної маси редьки олійної саме за рахунок частин тривалого розкладу. Це, враховуючи ряд досліджень [36, с. 914; 37, с. 3–4], дозволяє рекомендувати сидеральне використання редьки олійної у варіантах з допосівним періодом сидерації в інтервалі від 30 до 90 діб залежно від типу ґрунту та обсягів сформованої сидеральної маси.

Критерійна цінність листостеблової надземної маси редьки олійної у системі сидерального використання підтверджена також рівнем вмісту карбогідратів, які визначають динаміку розпаду маси та характер такого розпаду з позиції вивільнених речовин та послідууючої їх позитивної дії на мікробіологічну активність ґрунту та сприяння його самоагрегації. З цієї позиції значення даного показника в інтервалі 55–60 (у % на суху речовину) цілком відповідає вимогам щодо ефективного сидерального використання біомаси даного виду рослин та узгоджується позитивно з іншими дослідженнями [38, с. 68–69]. У результуючому підсумку іммобілізаційний ґрунтовий потенціал сидеральної маси редьки олійної підтверджено показником якості рослинної маси, який, за бажаного рівня не менше 85% на суху речовину [39, с. 2] для сидеральних культур, у редьки олійної мав середньобагаторічне значення на рівні 84,86%.

Загальна позитивна біохімічно-сидеральна оцінка сформованої листостеблової маси редьки олійної з прогнозованими технологічно-оптимальними параметрами підтверджена результатами оцінки швидкості її розкладу у ґрунті (табл. 4). При цьому визначена динаміка мала коливальний характер з поступовим інтенсивним зростанням від початку розкладу до 10 доби та послідууючим зниженням темпів даного процесу на 20 та 30 добу. Такий динамізм мав істотні відмінності у рубіжних датах оцінки у межах років що узгоджується із визначеним впливом на процес іммобілізації сидеральної маси ґрунтом гідротермічних умов, які його супроводжують [33, с. 229].

Отриманий показник швидкості розкладу у ґрунті ефективно співставний з аналогічними значеннями для ріпаку ярого і озимого (в інтервалі 0,54–1,68 г/добу залежно від умов), гірчиці білої (0,48–1,74 г/добу) та деякими дикими хрестоцвітими видами (0,39–1,55 г/добу) [23, с. 5–6; 35, с. 26–29; 38, с. 69–70]. Слід також відмітити високу варіативність показника в обліку, що підкреслює специфічність

Таблиця 4

Статистична оцінка швидкості та кумулятивності розкладу сидеральної маси редьки олійної у ґрунті (г/добу) у короткостроковому 30-добовому періоді на граничні дати обліку, 2019–2023 рр.

Рік	10 доба			20 доба			30 доба			
	\bar{x}	***SD	****C _v	\bar{x}	*SD	**C _v	\bar{x}	*SD	**C _v	
2019	*1	0,70	0,11	15,71	0,82	0,12	14,63	1,01	0,13	12,87
	**2	25,4	4,11	16,18	39,3	4,48	11,40	48,8	4,58	9,39
2020	1	1,10	0,16	14,55	0,66	0,09	13,64	0,6	0,07	11,67
	2	27,5	3,85	14,00	37,4	3,92	10,48	42,7	4,63	10,84
2021	1	0,98	0,13	13,27	0,56	0,09	16,07	0,55	0,08	14,55
	2	28,5	3,41	11,96	36,2	4,17	11,52	43,4	4,85	11,18
2022	1	0,85	0,14	16,47	0,59	0,10	16,95	0,66	0,10	15,15
	2	30,5	3,94	12,92	38,2	4,57	11,96	45,5	4,78	10,51
2023	1	0,79	0,12	15,19	0,45	0,06	13,33	0,58	0,09	15,52
	2	23,5	3,73	15,87	29,2	3,84	13,15	32,7	4,81	14,71
НІР ₀₅	1	0,17	–	–	0,08	–	–	0,05	–	–
	2	1,15	–	–	1,59	–	–	2,09	–	–

*1 – показник швидкості розкладу, г/г добу; **2 – показник кумулятивності розкладу, %; ***SD – стандартне відхилення; ****C_v – коефіцієнт варіації.

і полікритерійність процесу розкладу сидеральної маси у ґрунті. За оцінками кумулятивності середньобагаторічний розклад листостеблової маси редьки олійної на 30 добу обліку становив 35,3% з розмахом від 28,6 до 45,7%. Враховуючи що оцінка для поширених хрестоцвітих видів за даним показником на 30 добу відповідає рівневі у 30–55% залежно від умов і параметрів – редька олійна продемонструвала технологічно придатні темпи розкладу для сучасних сидеральних технологій з вимогою укороченого періоду від закладення сидеральної маси до можливості забезпечення передпосівного обробітку.

Важливим є оцінка прогнозованості темпів розкладу у ґрунті сидеральної маси на основі її біохімічного складу та гідротермічного режиму впродовж даного процесу. Результати такої оцінки на підставі кореляційного парного аналізу представлено на рис. 2. На підставі отриманих даних достовірний обернений зв'язок із швидкістю розкладу сидеральної маси редьки олійної встановлено як для вмісту клітковини так і основних її похідних із середнім рівнем детермінації на рівні 52,18%. Достовірний прямий зв'язок встановлено для вмісту безазотистих екстрактивних речовин (коефіцієнт детермінації 41,73%). Такий же характер взаємозв'язку відмічено для вмісту карбогідратів та якості рослинної маси. Цікаво відмітити, що співвідношення між вмістом органічного вуглецю та основними зольними елементами, а також між вмістом органічного вуглецю і похідними клітковини (її дивергентних форм) мало прямий, але неістотний зв'язок для статистичної групи оцінки. На рівні достовірного статистичного допуску (при $d_{xy} > 18,0\%$) встановлено зв'язок між швидкістю розкладу сидеральної маси редьки олійної і співвідношенням між вмістом целюлози і геміцелюлози та співвідношенням НДК/КДЛ, а також обернені достовірні зв'язки ($p < 0,05$) співвідношень дивергентних форм клітковини до геміцелюлози, що підтверджує раніше зроблені висновки щодо ролі клітковини та її похідних у темпах розкладання сидератів у ґрунті. Також підтверджено роль співвідношення C/N у прогнозуванні темпів ґрунтової іммобілізації сидеральної маси

редьки олійної із встановленим оберненим зв'язком по відношенню до швидкості розкладу із рівнем детермінації 34,22%.

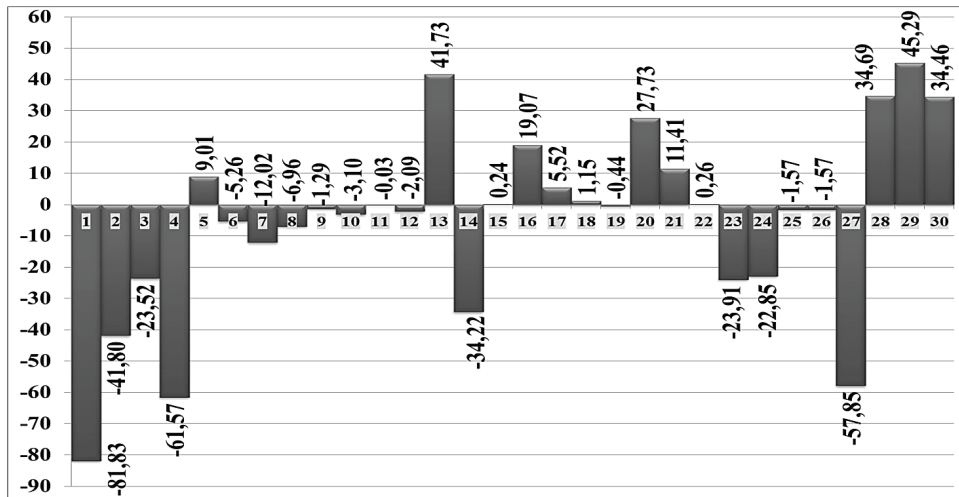


Рис. 2. Коефіцієнти детермінації (d_y) залежності швидкості розкладу сидеральної маси редьки олійної від показників біохімічного складу маси та гідротермічного режиму періоду розкладу (в єдиній системі роки-повторення для $N=20$, за мінімального $d_x=18\%$ для рівня значимості $p<0,05$) (Індекси показників: 1=вміст клітковини; 2=НДК; 3=КДК; 4=КДЛ; 5=загальний вміст органічного вуглецю; 6=загальний вміст азоту (N); 7= Вміст целюлози (Ц); 8=вміст геміцелюлози (ГЦ); 9=вміст фосфору (P); 10=вміст калію (K); 11=вміст кальцію (Ca); 12=вміст сірки (S); 13=БЕР; 14= співвідношення C/N; 15=співвідношення C/P; 16=Співвідношення C/K; 17=співвідношення C/Ca; 18=співвідношення C/S; 19=співвідношення Ц/ГЦ; 20=співвідношення НДК/КДЛ; 21=співвідношення КДК/КДЛ; 22=співвідношення НДК/Ц; 23=співвідношення КДК/Ц; 24=співвідношення КДЛ/Ц; 25=співвідношення НДК/ГЦ; 26=співвідношення КДК/ГЦ; 27=співвідношення КДЛ/ГЦ; 28=карбогідрати (СН); 29=якість рослинної маси; 30=ГТК).

З позиції ролі гідротермічних умов – їх вплив за застосування критерію гідротермічного коефіцієнту (ГТК) мав прямоформууючий істотний характер на швидкість розкладу сидеральної маси. З огляду на комплексні аналогічні дослідження проведені на групі представників різних видів рослин з позиції темпів їх ґрунтового розкладу [21, с. 1155–1156; 30, с. 467; 40, с. 972] редька олійна засвідчила аналогічність за рядом оцінок та можливість ефективного системного прогнозу темпів ґрунтової іммобілізації її листостеблової маси.

Висновки і перспективи подальших досліджень. На підставі проведених досліджень листостеблову масу редьки олійної віднесено до сидерального ресурсу з високим ефективним потенціалом та середніми темпами розкладу за короткий агротехнологічний 30-добовий період на рівні 28–45%. У прогностичній оцінці динаміки показника швидкості розкладу основними критеріями із оберненим характером впливу будуть вміст клітковини та її дивергентних похідних у тому числі їх співвідношення із вмістом геміцелюлози, а також показник співвідношення C/N. Зростання темпів розкладу слід очікувати також за зростання вмісту БЕР, карбогідратів та загальної якості рослинної маси на

фоні оптимізації гідротермічного режиму у період розкладу за зростання гідротермічного коефіцієнту за період розкладу. При цьому, слід зауважити, що з огляду на середній по системі кореляційного визначення коефіцієнт детермінації по істотним зв'язкам на рівні 34,29% – перспективою подальших досліджень буде вивчення у єдиній системі як біохімічних та кліматичних показників, так і ґрунтових умов родючості, оскільки отримані результати вказують на високу ймовірність факторноформуючої їх ролі у складних процесах ґрунтової іммобілізації сидеральної маси редьки олійної на сірих лісових ґрунтах із середнім потенціалом родючості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. 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. 1243–1240.
2. 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.
3. Toungos M.D., Bulus Z.W. Cover crops dual roles: Green manure and maintenance of soil fertility, a review. *International Journal of Innovative Agriculture and Biology Research*. 2019. Vol. 7. Is. 1. P. 47–59.
4. Lei B., Wang J., Yao H. Ecological and environmental benefits of planting green manure in paddy fields. *Agriculture*. 2022. Vol. 12. №2. e223.
5. Ansari M.A., Choudhury B.U., Layek J., Das A., Lal R., Mishra V.K. Green manuring and crop residue management: Effect on soil organic carbon stock, aggregation, and system productivity in the foothills of Eastern Himalaya (India). *Soil Tillage Research*. 2022. Vol. 218. e105318.
6. Singh D., Devi K.B., Ashoka P., Bahadur R., Kumar N., Devi O. R., Shahni Y.S. Green Manure: Aspects and its Role in Sustainable Agriculture. *International Journal of Environment and Climate Change*. 2023. Vol. 13. №11. P. 39–45.
7. Yadav D., Kumawat A., Kumar P., Kumar S., Singh D., Kumar D.. Chemical Fertilization to Green Manuring: Moving towards Sustained Production. Farm Information Bureau. 2021. Vol. 9. №1. P. 15–19.
8. Цицюра Я.Г., Цицюра Т.В. Редька олійна. Стратегія використання та вирощування: монографія. Вінниця: ТОВ “Нілан ЛТД”, 2015. 624 с.
9. Abdulraheem M.I., Tobe O.K. Green manure for agricultural sustainability and improvement of soil fertility. *Farming & Management*. 2022. Vol. 7. P. 1–8.
10. Silva G.T.A., Matos L.V., Nóbrega P.O., Carneiro E.F. Resende A.S. de Resende.. Chemical composition and decomposition rate of plants used as green manure. *Scientia Agricola*. 2008. Vol. 65. Is. 3. P. 298–305.
11. Liu X.H., Zhou X., Deng L.C., Fan L.Y., Qu L., Li M. Decomposition characteristics of rapeseed green manure and effect of nutrient release on soil fertility. *Hunan Agricultural Science*. 2020. Vol. 416. P. 39–44.
12. Undersander D., Mertens D.R., Thiex N. Forage analyses. Procedures. National Forage Testing Association. 1993. 139 p.
13. 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.
14. AOAC. Official Method of Analysis: Association of Analytical Chemists. 19th Edition, Washington DC, 2012. 689 p.
15. Quemada M., Cabrera M. L. Carbon and nitrogen mineralized from leaves and stems of 4 cover crops. *Soil Science Society of America Journal*, 1995. Vol. 59. P. 471–477.

16. FOSS. 2018. Fibre analysis of animal feed Crude fibre, neutral detergent fibre and acid detergent fibre – the standards and the automation options. eBook. Available online: <https://www.fossanalytics.com/-/media/files/documents/papers/laboratories-segment/ebook-fibre-analysis-of-animal-feed-gb.ashx> (дата звернення 10 червня 2024).
17. Nielsen S.S. Complexometric Determination of Calcium. In: Nielsen, S.S. (eds) Food Analysis Laboratory Manual. Food Science Texts Series. Springer, Boston, MA., 2010. 244 p.
18. Stute J.K., Posner J.L. Synchrony between legume nitrogen release and corn demand in the upper Midwest. *Agronomy Journal*. 1995. Vol. 87. P. 1063–1069.
19. Ranells N.N., Wagger M.G.. Nitrogen release from grass and legume cover crop monocultures and bicultures. *Agronomy Journal*. 1996. Vol. 88. №5. P. 777–882.
20. Jahanzad E., Barker A.V., Hashemi M., Eaton T., Sadeghpour A.. Nitrogen release dynamics and decomposition of buried and surface cover crop residues. *Agronomy Journal*. 2016. Vol. 108. P. 1735–1741.
21. Kazakou E, Violle C, Roumet C, Pintor C, Gimenez O, Garnier E. Litter quality and decomposability of species from a Mediterranean succession depend on leaf traits but not on nitrogen supply. *Annals of Botany*. 2009. Vol. 104. Is.6. P. 1151–1161.
22. Tsytsiura Y.H. Modular-vitality and ideotypical approach in evaluating the efficiency of construction of oilseed radish agrophytocenosis (*Raphanus sativus* var. *oleifera* Pers.). *Agraarteadus*. 2020. Vol. 31. №2. P. 219–243.
23. Wang X., Ma H., Guan C., Guan M. Decomposition of Rapeseed Green Manure and Its Effect on Soil under Two Residue Return Levels. *Sustainability*. 2022. Vol. 14. Is. 17. e11102.
24. Snedecor G.W., Cochran W.G. Statistical Methods, 8th Edition. Wiley-Blackwell, 1991. 524 p.
25. Lupwayi N.Z., Soon Y.K. Soil microbial properties during decomposition of pulse crop and legume green manure residues in three consecutive subsequent crops. *Canadian Journal of Soil Science*. 2016. Vol. 96. № 4. P. 413–426.
26. Ruizvega J., Nuñez-barrios A., Cruz-ruiz M. Decomposition rates of intercropped green manure crops in Oaxaca, Mexico. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*. 2010. Vol. 25. №3. P. 212–216.
27. Vorobeichik E.L., Pishchulin P.G.. Effect of trees on the decomposition rate of cellulose in soils under industrial pollution. *Eurasian Soil Science*. 2011. Vol. 44. P. 547–560.
28. Rowland A.P., Roberts J.D.. Lignin and cellulose fractionation in decomposition studies using acid-detergent fibre methods. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 1994. Vol. 25. № 3–4. P. 269–277.
29. Mishchenko Y., Zakharchenko E., Masyk I. Influence of green manure (oilseed radish) and tillage practices on nutrients dynamics of chernozem calcic during arable crops growth. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Agronomy and Biology*. 2020. Vol. 41. №3. P. 8–22.
30. Birouste M, Kazakou E, Blanchard A, Roumet C. Plant traits and decomposition: are the relationships for roots comparable to those for leaves? *Annals of Botany*. 2012. Vol. 109. №2. P. 463–472.
31. Toleikiene M., Arlauskiene A., Fliesbach A., Iqbal R., Sarunaite L., Kadziuliene Z.. The decomposition of standardised organic materials in loam and clay loam arable soils during a non-vegetation period. *Soil and Water Research*, 2020. Vol. 15. № 3. P. 181–190.
32. Naz A., Rebi A., Naz R., Akbar M.U., Aslam A., Kalsom A., Niaz A., Ahmad M.I., Nawaz S., Kausar R. Impact of Green Manuring on Health of Low Fertility Calcareous Soils. *Land*. 2023. Vol. 12. №3. e546.
33. Kriauciūnienė Z., Velička R., Raudonius S. The influence of crop residues type on their decomposition rate in the soil: a litterbag study. *Zemdirbyste*. 2012. Vol. 99. P. 227–236.

34. Rinasoa S., Nishigaki T., Rabeharisoa L., Tsujimoto Y., Rakotoson T.. Organic materials with high P and low C:P ratio improve P availability for lowland rice in highly weathered soils: Pot and incubation experiments. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2022. Vol. 185. P. 475–485.
35. Zachariah H. Potential of three brassica cover crops for biofumigation in the field and the relationship between soil myrosinase and biofumigation efficacy. PhD Thesis. Clemson University. TigerPrints. 2011. 1248. 136 pp.
36. Watthier M., Peralta Antonio N., Gomes J.A., Rocha S.B.F., Santos R.H.S. Decomposition of green manure with different grass: legume ratios. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 2019. Vol. 66. №7. P. 913–924.
37. Xu J., Si L., Zhang X., Cao K., Wang J. Various green manure-fertilizer combinations affect the soil microbial community and function in immature red soil. *Frontiers in Microbiology*. 2023. Vol. 14. Is. 14. e1255056.
38. Israt I.J., Parimal B.K. Residual Effect of Green Manure on Soil Properties in Green Manure-Transplant Aman-Mustard Cropping Pattern. *Indian Journal of Agricultural Research*. 2023. Vol. 57. №1. P. 67–72.
39. Sharma S., Kaur S., Parkash Choudhary O., Singh M., Al-Huqail A.A., Ali H.M., Kumar R., Siddiqui M.H. 2022. Tillage, green manure and residue retention improves aggregate-associated phosphorus fractions under rice–wheat cropping. *Scientific Reports*. Vol. 12. e7167.
40. Pereira N. S., Soares I., Miranda F.R. Decomposition and nutrient release of leguminous green manure species in the Jaguaribe-Apodi region, Ceará, Brazil. *Ciência Rural*. 2016. Vol. 46. Is. 6. P. 970–975.
-