

ПРОДУКТИВНИЙ ТА БІОХІМІЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ЛИСТОСТЕБЛОВОЇ МАСИ РЕДЬКИ ОЛІЙНОЇ ЯК КРИТЕРІЙ ЇЇ МОЖЛИВОГО ВИКОРИСТАННЯ У ЯКОСТІ СИРОВИНИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ

ЦИЦЮРА Я.Г. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент
orcid.org/0000-0002-9167-833X
Вінницький національний аграрний університет

Постановка проблеми. Світові ризики зумовлені зростанням вартості на традиційні енергоресурси змінили сталі уявлення про джерела енергії та сприяли розвитку напрямку зеленої біоенергетики, що ґрунтується на відновних ресурсах у тому числі рослинного походження з кінцевою метою отримання біопалива та біогазу, що для України у зв'язку із російською агресією є надважливим питанням гарантування її енергетичної безпеки [1]. Для досягнення поставленої мети науковці вже понад двадцять останніх років ведуть пошук оптимальних кандидатів із числа традиційних та інтродукованих видів рослин як ефективного джерела у біоенергетиці як з позиції безпосередньої переробки біомаси на біогаз, так і з позиції отримання проміжних субпродуктів (олії, спирту, крохмалю) з метою їх кінцевої переробки для отримання біопалива у формах біодизелю, біоетанолу [2–3]. Світова наукова практика у цьому плані провела оцінку понад 100 видів рослин, які сьогодні у різних країнах використовуються на біоенергетичні потреби [4–5]. При цьому відмічається, що цей перелік постійно поповнюється за рахунок як інновацій у системі критерійної оцінки та лабораторно-інструментарного забезпечення, так і з позиції залучення у цей процес все нових видів як культурного сільськогосподарського, так і дикорослого вжитку [6–8]. В Україні цей процес також має місце і вже на сьогодні окреслено близько двох десятків широкоживаних та акліматизованих видів, які потенційно можна ефективно використовувати у системі зеленої біоенергетики [5]. Разом із тим для нашої країни, на жаль, характерним є і певна обмеженість розширення переліку видових рослинних ресурсів з орієнтацією на світові багаторічні тенденції та тренди, що, у підсумку, формує звужений видовий рослинний спектр з позиції повноцінної сировинної бази, а часто види, які належать до однієї біологічної родини фактично мало застосовуються на окреслені цілі за рахунок їх заміщення на види, які вже довгий час культивуються і до яких вже звикли [4]. З цих причин ігнорується агротехнологічний та біоенергетичний потенціал таких культур, їх адаптивність та інші позитивні характеристики, які дають змогу зменшити як ресурсну емність технологій, так і дозволяють знизити собівартість виробництва відповідних альтернативних енергоресурсів [9–10]. До таких культур слід віднести і об'єкт наших досліджень – редьку олійну (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.) – культура яка набула широкої популярності у 90-х роках минулого століття, а потім в силу певних об'єктивних причин була незаслужено забута [11]. Лідером вирощування та селекційної роботи з цією

культурою у світовій практиці є Німеччина і вона поступово відновлює свої позиції у світі як кормова та сидеральна культура [12], активно вивчається її біопаливний потенціал [13]. При цьому питаннями, які вимагають наукового узагальнення є оцінка листостеблової маси цієї культури з позиції рослинного відновного ресурсу для виробництва біогазу у процесах анаеробної дигестації з допустимою аналогією із широковикористовуваними для цього процесу культурами як ріпак ярий і озимий, різні види гірчиць тощо [14–17]. Враховуючи окреслену проблематику за мету було поставлено оцінити біогазовий потенціал редьки олійної на сірих лісових ґрунтах з позиції комплексу біохімічних показників якості сформованої надземної біомаси спираючись на світовий досвід у визначенні ролі головних критеріїв доцільності її використання за варіанту проміжного (літнього) її вирощування у сівозміні (поширений варіант проміжного сидерального використання культури) у зоні Лісостепу правобережного України для реалізації етапів виконання державної тематики «Розробка екологоорієнтованих технологій вирощування біоенергетичних культур для забезпечення енергонезалежності та ґрунтозбереження задля формування кліматичної нейтральності» (№ держреєстрації 0124U000483).

Матеріали та 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 (сірий та темно-сірий підтипи) із таким середньобогаторічними показниками: 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_{KCl} 5,8.

У статті наведено аналітичні дані щодо сорту редьки олійної Журавка комбінованого можливого напрямку використання (зелена маса–сидерація–насіння). Систему показників обліковували на варіанті конструювання її агрофітоценозу, який відповідав варіанту кормово-сидерального використання редьки олійної [18] та передбачав неодобрений фон з густотою стояння до 2,5 млн рослин/га звичайним рядковим способом. Строк посіву літній проміжний – 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.

Дослідження включали формування системи показників з метою застосування системного методу факторного аналізу багатокритеріальної підтримки прийняття

рішень (у міжнародній аббревіатурі Multi-criteria decision aiding (MCDA)) [19] за одночасного застосування варіацій такого аналізу «Процес аналітичної ієрархії» (АНП), метод переваги порядку за схожістю з ідеальним рішенням (TOPSIS) відповідно до ряду рекомендацій [20–23]. Критерії аналітичного блоку вихідних показників підбирались на основі концепції багатофункціональної покривної культури (у міжнародній аббревіатурі термінів MSCC) [24]. Ця концепція передбачає пошук, підбір та поєднання в сівозміні культур, які мають певні критерії, основними з яких є невибагливість до умов використання з можливістю вирощування в широкому діапазоні календарних строків, інтенсивність та обсяг накопичення надземної та підземної біомаси певної біохімічної якості, інтенсивність процесу розкладання їх біомаси в ґрунті та придатність до процесів анаеробної ферментації у варіантах біогазових технологій [25].

Обліковувались наступні показники відповідно до рекомендованих методик: наземне покриття (НП (%)) у динаміці з інтервалом у 5 діб до 70 доби після посіву), сформована надземна біомаса (НБМ, кг/м²), співвідношення С:N (C/N), поглинання азоту (N_n, г/м²), якість рослинного матеріалу (ЯРМ, г/кг сухої речовини), вміст глюकोзинолатів (ВГЗ, ммоль/м²), вміст клітковини (ВК, г/кг сухої речовини).

Сформовану надземну біомасу (НБМ) рослин редьки олійної обліковували на фазу повного цвітіння (ВВСН 64–67) у 4 рендомізованих ділянках методом пробних майданчиків площею 1 м² у кожному повторенні (16 ділянок у підсумку) з наступним зважуванням. Для однотипового співставлення отриманої наземної біопродуктивності рослин 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 [26].

Наземне покриття (рослинний покрив) (НП) визначали починаючи із фенофази формування справжніх листків (ВВСН 12–13) з інтервалом у 5 днів до фази цвітіння (ВВСН 64–67). Для обліку даного показника засто-

совано методологію [27] яка базувалася на цифрових фотографіях маркованої поверхні, зроблених з перспективи на висоті 1,5 м.

Співвідношення С/N розраховували як відношення загального органічного вуглецю (ЗОВ) до загального вмісту азоту (ЗВН). Вміст загального органічного вуглецю (ЗОВ) у сухій масі рослин після механічного подрібнення визначали за допомогою лабораторного аналізатора загального органічного вуглецю серії ТОС-LCPH за стандартним протоколом. Визначення загального вмісту азоту (ЗВА) (офіційний метод АОАС 978.04) за методом К'ельдаля в сухій біомасі проводили за допомогою аналізатора KjeLROC Kd-310.

Поглинання азоту (N_n, г/м²) розраховано з урахуванням повної відсутності азотних добрив при накопиченні (N = поглинання N) за методикою [28]. Якість рослинного матеріалу (ЯРМ) визначали відповідно до методики [29]. Вміст глюकोзинолатів (ВГЗ) визначали на заморожених рослинах методом високоефективної рідинної хроматографії за стандартними методиками (ISO 9167:2019). Вміст клітковини (ВК) (офіційний метод АОАС 978.10) визначався гравіметрично як залишок, що залишається після кислотного та лужного розщеплення.

Для статистичної оцінки отриманих результатів застосовано базові та інтеграційні показники біологічної статистики [30].

Аналіз погодних умов та рівня їх мінливості за період досліджень проводився на основі гідротермічного коефіцієнту (ГТК), індексу посушливості Де Мартона (I_n) [31], коефіцієнту зволоження Висоцького-Іванова (K_з) [32]. Результати оцінки гідротермічного режиму періоду вегетації редьки олійної до дати цвітіння представлено у таблиці 1.

Враховуючи оптимальні параметри для ростових процесів рослин редьки олійної, відповідно до наших попередніх багаторічних оцінок [27], роки досліджень було розміщено у наступному порядку зростання сприятливості ростових процесів для умов літнього строку сівби: 2015–2021–2019–2016–2023–2014–2020–2018–2017–2022.

Таблиця 1

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

Рік	Сума опадів, мм (VII-X)	t _{сеп.} , °C (VII-X)	Місяці періоду вегетації											
			VII			VIII			IX			X		
			ГТК	I _n	K _з	ГТК	I _n	K _з	ГТК	I _n	K _з	ГТК	I _n	K _з
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

Результати досліджень. Важливість оцінки рівня біопродуктивності редьки олійної визначається критеріями обсягів надходження біомаси для різних варіантів потужностей біогазових станцій та установок. Відмічається [16] що з огляду на сучасний рівень біогазової ферментації бажаний урожайний потенціал для культур, які потенційно використовуються для отримання біогазу має становити на рівні 1,0 т/га у сухій речовині. Даний показник позитивно корелює із оціночними шкалами біопродуктивності базових сільськогосподарських культур, які залучаються до технологій отримання біогазу [8]. У переведенні на суху речовину середній за період оцінок рівень сформованої надземної біомаси становив 2,82 т/га (за міжрічного варіювання 27,51%) (рис. 1). З позиції достатньої відповідності біопродуктивності редьки олійної можна оцінити як високу.

При цьому вказаний рівень міжрічного варіювання свідчить з одного боку про відповідний рівень реакції рослин редьки олійної на зміну гідротермічних режимів періоду її вегетації за період досліджень (табл. 1), а з іншого боку його значення істотно нижче за коефіцієнту варіації для показника суми опадів 48,24%, гідротермічного коефіцієнту і коефіцієнту зволоження (ГТК (K_s)) 68,11% та індексу посушливості (I_n) 58,93%. Такий характер формування з огляду на оцінки [32] вказує на адаптивність редьки олійної до умов нестійкого зволоження та можливість її продуктивного вирощування у варіантах літнього строку сівби для отримання біосировини для виробництва біогазу. Ці висновки позитивно узгоджуються із цілим рядом узагальнень [12, 13, 15, 33, 34] відповідно до яких редьку олійну віднесено до групи високоурожайних покривних культур із рівнем продуктивності в інтервалі від 1,0 до 8,0 т/га сухої речовини із достатнім рівнем адаптивності для вирощування у різних проміжних технологічних схемах з різними строками сівби, включно з датою посіву до 15 серпня. Тобто за обсягами формування надземної біомаси редька олійна може перевищувати аналогічні варіанти проміжного використання класичних хрестоцвітих куль-

тур біомаса яких залучається до технологічних процесів отримання біогазу.

З іншого боку, якщо брати до уваги заявлений максимальний продуктивний потенціал сортів цієї культури, які вирощуються в Україні [35] за застосованої норми висіву у значенні до 50 т/га за весняного та до 35 т/га за літнього строку сівби – рівень реалізації даного потенціалу у наших дослідженнях різнився у різні роки від 27.1% до 70.8%. Тобто з позиції сталості біопродуктивності за використання редьки олійної можливі відхилення від оптимальності в 1,0 т/га сухої біомаси у роки з вираженою аридністю. Це підтверджується співставленням мінімальних значень виходу біомаси із гідротермічними режимами у ці роки (табл. 1, рис. 1) та узгоджується із результатами кореляційного співставлення між гідротермічними показниками періоду формування надземної біомаси і рівнем її виходу із усередненим коефіцієнтом детермінації на рівні 37,8% (при $p < 0.001$).

Іншим важливим критерієм забезпечення рівня біопродуктивності за збереження якості сформованої маси є динаміка наземного покриття. Показник наземного покриття (НП) є важливою ознакою темпів ростового наростання біомаси та швидкості закриття ґрунтової поверхні у полі зору. Для культур проміжного використання він є індикатором виживаємості в екстремальних умовах та здатності формувати певний обсяг рослинної сировини за відносно короткий фенологічний період. Базуючись на результатах обліку динамічного приросту листостеблової маси (рис. 2) визначено інтервал інтенсивного зростання даного показника у міжфазному фенологічному періоді від початку цвітіння (ВВСН 50–52) до його завершення (ВВСН 68–69) (рис. 2).

На підставі даних за літнього строку сівби оптимальний варіант використання редьки олійної за функцією покривної сидеральної культури був у періоді 45–55 доба після сівби. При цьому можливість досягнення рівня біопродуктивності в 1,0 т/га сухої речовини цілком можлива вже на 35–40 добу після сівби. Це узгоджується із лінією тренда для умов 2022 року (рис. 2) та загальним рівнем досягнутого виходу листостеблової маси у цей

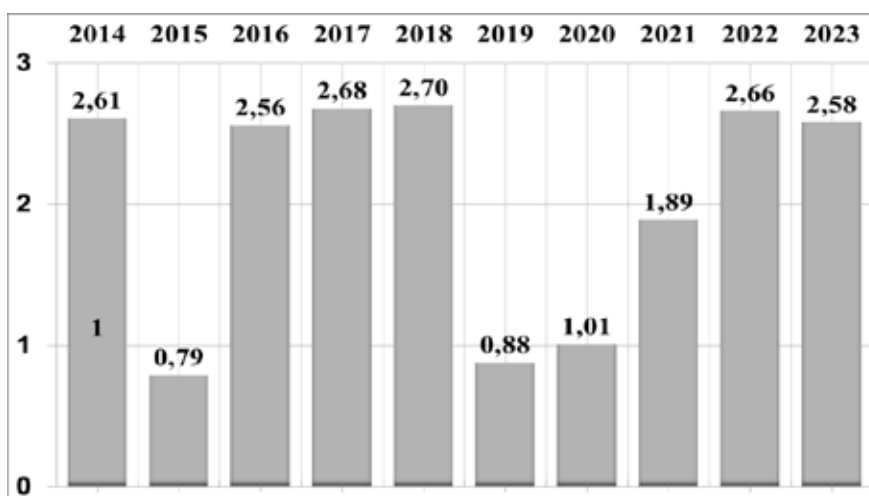


Рис. 1. Сформована надземна листостеблова маса рослин редьки олійної в перерахунку на суху речовину за літнього строку сівби, т/га (при $HIP_{05} 0,27$), 2014–2023 рр.

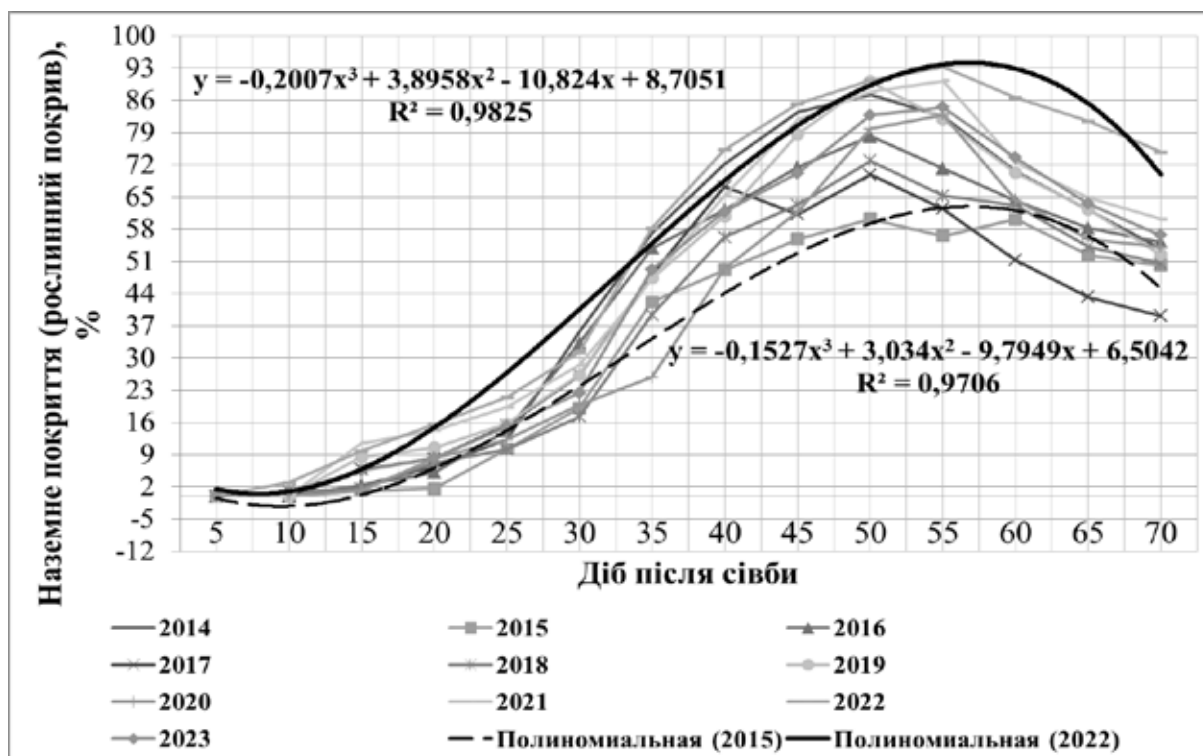


Рис. 2. Динаміка показника наземного (рослинного) покриття ґрунтової поверхні рослинами олійної редьки за літнього строку сівби (%), 2014–2023 рр.

рік 2,66 т/га (рис. 1) Це позитивно виділяє редьку олійну серед групи ярих хрестоцвітих культур для яких (згідно [21, 27, 34]) цей показник від 5 до 12 діб є більш тривалишим навіть за оптимальних умов.

Встановлено і інтервал максимальної приростної динаміки збільшення показника від початку цвітіння (ВВСН 50–52) до його завершення (ВВСН 68–69). При цьому відмічено і зворотній процес інтенсивного зниження внаслідок відмирання листя на 55–75 день після сівби. Це узгоджується із степеневим характером ліній тренду для сприятливого з гідротермічної точки зору періоду вегетації 2022 року, та лінії тренду для найменш сприятливого 2015 року (табл. 1) за рівня апроксимації ($R^2(\%)$) 98,3 та 97,1%. У підсумку досягнення максимального рівня НП відмічено у середньобогаторічному обліку на 50 добу (з коливанням в інтервалі 60,27–90,36% за середнього значення 79,94%). Тобто з позиції заготівлі потенційної біосировини із редьки олійної для анаеробної дигестації з позиції реалізації продуктивного потенціалу є період 40–50 доба після сівби в умовах літніх (проміжних) строків сівби особливо за умов нестійкого зволоження.

Важливим з позиції цінності відповідної сільськогосподарської культури для її застосування як сировини для біогазової ферментації є оцінка біохімічного складу сформованої біомаси. Результати такої оцінки стосовно надземної біомаси на дату фенологічного оптимального строку використання представлено у табл. 2. За результатами представлених оцінок листостеблову масу редьки олійної можна віднести до рослинного матеріалу із стабільним загальним вмістом органічного

вуглецю (ЗОВ) за досить вузького інтервалу показника 38–42% на абсолютно суху речовину, що на фоні високого загального вмісту азоту (ЗВА) із середнім вмістом 2,5–3,1% на абсолютно суху речовину формує масу із низьким співвідношенням С/Н від 11 до 17 одиниць залежно від року спостереження.

Встановлено [35, 36], що оптимальне значення С/Н для анаеробної дигестації біомаси у технологіях отримання біогазу знаходиться у межах 20–30 з інтервалом можливих технологічних відхилень у межах від 10 до 30. За низьких значень співвідношення С/Н істотно зростає концентрація амонійної форми азоту та інгібується мікробіологічний процес анаеробної ферментації. При цьому рівень поглинання азоту рослинами виступає як внутрішній регулюючий механізм сталості співвідношення С/Н на фоні відміченої сталої концентрації органічного вуглецю. Цей механізм забезпечує для найбільш біогазопридатної сировини регулювання вказаного співвідношення на максимальному рівні у 50–70 одиниць та на мінімальному у 8–10 одиниць [7, 13]. Саме тому критерій поглинання азоту за відсутності удобрення у варіанті забезпечує певний рівень оптимізованого співвідношення С/Н на рівні 15–20 одиниць у редьки олійної. На підставі вище викладеного, 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, а також застосування кооферментації і інокулюмом для гарантування оптимального старту процесу з огляду на такі технологічні застосування у приміненні до інших хрестоцвітих культур [37].

Таблиця 2

Основні показники якості надземної біомаси редьки олійної за літнього строку сівби, 2014–2023 рр.

Рік	ЗОВ, % на сух. реч.	ЗВА, % на сух. реч.	C/N	N _n , г/м ²	ЯРМ, % на сух. реч.	ВГЗ, μmol/г сух. реч.	ВК, % на сух. реч.
2014	41,03	2,79	14,71	9,39	81,46	18,55	23,32
2015	39,82	2,38	16,73	3,95	80,44	21,58	26,72
2016	40,59	2,94	13,81	9,87	81,00	18,19	23,89
2017	38,51	3,18	12,11	10,80	81,53	17,92	22,97
2018	38,09	3,32	11,47	11,45	81,46	21,02	23,69
2019	40,87	2,58	15,84	4,48	81,04	21,19	25,33
2020	38,44	3,27	11,76	5,95	80,69	19,75	24,17
2021	41,29	3,09	13,36	8,45	80,43	21,53	24,85
2022	38,98	3,67	10,62	12,26	81,08	17,17	22,51
2023	39,15	3,43	11,41	11,55	81,16	20,09	23,92
HIP ₀₅	1,82	0,49	2,05	0,97	2,17	0,43	1,14

Таблиця 3

Інтенсивність важливості нормованих ознак за фундаментальною шкалою для редьки олійної за біогазового використання біомаси у системі багатofункціональної покривної культури (MSCC), 2014–2023 рр.

Категорія використання	НП, %	НБМ, кг/м ²	C/N	N _n	ЯРМ, г/кг	ВГЗ, ммоль/м ²	ВК, г/кг
Сировина для анаеробної дигестації (отримання біогазу)*	3	5	5	3	5	5	3
Оптимальна тенденція формування при співставленні варіантів оцінки**	+	+	+	+	+	-	-
Агрегатоване рівняння корисності показників	3 НП + 5 НБМ + 5C/N + 3 N _n + 5 ЯРМ – 5 ВГЗ – 3 ВК						
Рік досліджень	Нормалізовані значення критерійної оцінки за напрямом біогазового використання						
2014	0,88 ^b						
2015	0,75 ^f						
2016	0,80 ^e						
2017	0,80 ^e						
2018	0,80 ^e						
2019	0,91 ^a						
2020	0,85 ^c						
2021	0,82 ^d						
2022	0,83 ^d						
2023	0,85 ^c						

* Атрибути обрані на основі аналізу публікацій: [35, 36, 37, 39, 40–47]; ** «+» зростання показника, «-» – зниження показника; *** малі індексні літери вказують на статистично істотні відмінності ($p < 0,05$).

Що стосується отриманих показників C/N у наших дослідженнях порівняно із даними для інших хрестоцвітих культур, які використовуються у варіантах біогазової ферментації то слід зауважити, що для більшості хрестоцвітих видів цей показник у різні роки на фазу цвітіння був в інтервалі 10–18 для літньої сівби [5, 34, 35]. Такі результати підтверджують високий потенціал редьки олійної у критерійній системі співставлення до вже широкоживаних видів хрестоцвітих культур.

Щодо вмісту глюकोзинолатів концентрація цих сполук забезпечує певні процеси інгібування інтенсивності анаеробної ферментації отриманої листостеблової маси [34]. Проте за рівня вмісту глюकोзинолатів у листостебловій масі редьки олійної на рівні 19,7 μmol/г сухої речо-

вини у співставленні до вмісту їх у біомасі таких культур (відповідно до [16, 38]) як гірчиця біла (11–56 μmol/г сухої речовини), ріпаку ярого (9–44 μmol/г сухої речовини), ріпаку озимого (8–51 μmol/г сухої речовини) дають підстави віднести її до хрестоцвітих культур з високим біофумігаційним потенціалом придатних до переробки сирової біомаси на біогаз за літнього строку сівби.

Що стосується якості рослинної маси (ЯРМ) то показник є похідним від рівня вмісту дивергентних форм клітковини з орієнтацією на вміст карбогідратів та безазотистих екстрактивних речовин. Відмічається [39] що для оптимізації біогазової ферментації рослинної маси цей показник має бути не нижчим 85% на суху речовину. Такий рівень забезпечує оптимізоване співвідношення

між темпами розкладу рослинної маси, загального та продуктивного періоду біометановиділення по відношенню до супутніх газів розкладу. З цієї позиції листостеблова маса за середньобагаторічного показника якості рослинної маси на рівні 81,0% на суху речовину є відносно відповідною вказаним критеріям. Це пов'язано із високим вмістом клітковини (середньобагаторічний рівень 24,14% на суху речовину) яка у відповідності до фактору впливу на динамізм біогазової ферментації, забезпечуючи зниження інтенсивності розкладу та характер біометановиділення [35]. При цьому бажаний рівень вмісту клітковини у листостебловій масі, як сировини для отримання біогазу до 18% на суху речовину [36]. З цих причин щодо листостеблової маси редьки олійної слід очікувати складну динаміку розкладу із складнодинамічними кривими як загальної біогазової, так і біометанової продуктивності.

Результуючим підсумком нашого аналізу в системі багатокритерійних рішень з огляду на дані та наукову аргументацію інших дослідників була атрибутивна оцінка складових коефіцієнтів результуючих рівнянь відповідного концептуального напрямку використання представлена в таблиці 3. Сформований масив вихідних даних щодо важливості досліджуваних ознак у формуванні біогазового напрямку використання листостеблової маси редьки олійної дозволив отримати їх нормалізовану матрицю. У підсумку, за результатами багатокритеріального аналізу були отримані підсумкові суми нормалізованих та скоригованих за вагою коефіцієнтів. Враховуючи максимальну значимість нормалізованих річних значень у системі ефективності використання листостеблової маси редьки олійної для отримання біогазу у значенні 1 [19–20] – середньобагаторічне значення показника у значенні 0,829 доводить потенційно високу можливість використання сировини листостеблової маси редьки олійної сформовану у варіантах літньої проміжної сівби для отримання біогазу. При цьому річні умови мали істотний вплив на значимість оптимальності критерію, а листостеблова маса сформована в умовах 2019 року вегетації мала відповідно максимально якісну оцінку з позиції біогазової продуктивності. Відповідно умови 2015 року були найбільш депресивними з позиції формування технологічно якісної сировини, що позитивно узгоджується з гідротермічними режимами для років періоду досліджень.

Висновки. За результатами представлених досліджень доведена висока потенційна можливість використання листостеблової маси редьки олійної сформованої за літньої (проміжної) сівби із середнім рівнем атрибутивної нормалізованої критерійної оцінки 0,829 при міжрічній мінливості показника у 5,5%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

- Zhang Q., Hu Y., Jiao J., Wang S. The impact of Russia-Ukraine war on crude oil prices: an EMC framework. *Humanities and Social Sciences Communications*. 2024. Vol. 11. 8.
- Long H., Wang S., Wu W., Zhang G. The economic influence of oil shortage and the optimal strategic petroleum reserve in China. *Energy Reports*. 2022. Vol. 8. P. 9858–9870.
- Bruce D., Bozzetto S., Couturier C., Claudio F., Hilbert J.A., Ong R.G., Richard T., Rossi L., Thelen K.D., Woods J. The potential for expanding sustainable biogas production and some possible impacts in specific countries. *Biofuels, Bioproducts & Biorefining*. 2020. Vol. 14. № 6. P. 1335–1347.
- Kaletnik H., Pryshliak V., Pryshliak N. Public Policy and Biofuels: Energy, Environment and Food Trilemma. *Journal of Environmental Management & Tourism*. 2020. Vol. 10. № 4 (36). P. 479–487.
- Kulichkova G.I., Ivanova T.S., Köttner M., Volodko O.I., Spivak S.I., Tsygankov S.P., Blume Y.B. Plant Feedstocks and their Biogas Production Potentials. *The Open Agriculture Journal*. 2020. Vol. 14. P. 219–234.
- Bonnet C., Gaudio N., Alletto L., Raffailac D., Bergez J-E., Debaeke P., Gavaland A., Willaume M., Bedoussac L., Justes E. Design and multicriteria assessment of low-input cropping systems based on plant diversification in southwestern France. *Agronomy for Sustainable Development*. 2021. Vol. 41. 65.
- Levavasseur F., Kouakou P.K., Constantin J., Cresson R., Ferchaud F., Girault R., Jean-Baptiste V., Lagrange H., Marsac S., Pellerin S., Houot S. Energy cover crops for biogas production increase soil organic carbon stocks: A modeling approach. *GCB Bioenergy*. 2022. Vol. 100. P. 1–15.
- Stomka A, Pawłowska M. Catch and Cover Crops' Use in the Energy Sector via Conversion into Biogas–Potential Benefits and Disadvantages. *Energies*. 2024. Vol. 17. № 3. 600.
- Chapagain T., Lee E.A., Raizada M.N. The Potential of Multi-Species Mixtures to Diversify Cover Crop Benefits. *Sustainability*. 2020. Vol. 12. № 5. 2058.
- Joshi D.R., Sieverding H.L., Xu H., Kwon H., Wang M., Clay S.A., Johnson J.M., Thapa R., Westhoff S., Clay D.E. A global meta-analysis of cover crop response on soil carbon storage within a corn production system. *Agronomy Journal*. 2023. Vol. 115. P. 1543–1556.
- Tsytsiura Y. Evaluation of oilseed radish (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.) oil as a potential component of biofuels. *Engenharia Agrícola*. 2023. Vol. 43. Special issue. e20220137.
- Wollford A.R., Jarvis P.E. Cover, catch and companion crops. Benefits, challenges and economics for UK growers. Game & Wildlife Trust The Allerton Project. 2017. 89 p.
- Lövgren E. Complete removal of biomass from oilseed radish as a cover crop decreased nitrous oxide emissions. Master's degree project. Swedish University of Agricultural Sciences. 2022. 46 p.
- Quintarelli V., Radicetti E., Allevato E., Stazi S.R., Haider G., Abideen Z., Bibi S., Jamal A., Mancinelli R. Cover Crops for Sustainable Cropping Systems: A Review. *Agriculture*. 2022. Vol. 12. 2076.
- Ugrenović V., Filipović V., Jevremović S., Marjanović J.A., Popović V., Buntić A., Delić D. Effect of Brassicaceae as cover crops. *Selekcija i semearstvo*. 2019. Vol. 25. № 2. P. 1–8.
- Bhogal A., White C., Morris N. Project Report №. 620 Maxi Cover Crop: Maximising the benefits from cover crops through species selection and crop management. AHDB Cereals & Oilseeds is a part of the Agriculture and Horticulture Development Board (AHDB). 2019. 111 p.

17. 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. 105318.
18. Tsytsiura Y.H. Modular-vitality and ideotypical approach in evaluating the efficiency of construction of oilseed radish agrophytocenoses (*Raphanus sativus* var. *oleifera* Pers.). *Agraarteadus*. 2020. Vol. 31. № 2. P. 219–243.
19. Taherdoost H., Madanchian M. Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Methods and Concepts. *Encyclopedia*. 2023. Vol. 3. № 1. P. 77–87.
20. Saaty T.L., Vargas L.G. Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process. 2th Ed. Springer New York. 2012. 345 p.
21. Ramirez-García, J., Carrillo, J.M., Ruiz, M., Alonso-Ayuso, M., & Quemada M. Multicriteria Decision Analysis Applied to Cover Crop Species and Cultivars Selection. *Field Crops Research*. 2015. Vol. 175. P. 106–115.
22. El Amine M., Pailhès J., Perry N. Selection and use of a multi-criteria decision aiding method in the context of conceptual design with imprecise information: Application to a solar collector development. *Concurrent Engineering: Research and Applications*. 2016. Vol. 24. № 1. P. 35–47.
23. Hajduk S. Multi-Criteria Analysis in the Decision-Making Approach for the Linear Ordering of Urban Transport Based on TOPSIS Technique. *Energies*. 2021. Vol. 15. 274.
24. Justes E., Richard G. Contexte, Concepts et Definition des cultures intermediaires multiservices. *Innovations Agronomiques*. 2017. Vol. 62, № 5. P. 17–32.
25. Scavo A., Fontanazza S., Restuccia A., Pesce G.R., Abbate C., Mauromicale G. The role of cover crops in improving soil fertility and plant nutritional status in temperate climates. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2022. Vol. 42. № 5. 93.
26. Undersander D., Mertens D.R., Thies N. Forage analyses. Procedures. National Forage Testing Association. 1993. 139 p.
27. Ramirez-Garcia J., Almendros P., Quemada M. Ground cover and leaf area index relationship in a grass, legume and crucifer crop. *Plant, Soil and Environment*. 2012. Vol. 58. P. 385–390.
28. Gastal F., Lemaire G. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. *Journal of Experimental Botany*. 2002. Vol. 53. № 370. P. 789–799.
29. 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.
30. Wong J. Handbook of statistical analysis and data mining applications. Cambridge, Academic Press. 2018. 589 p.
31. Moral F.J., Rebollo F.J., Paniagua L.L., García-Martín A., Honorio F. Spatial Distribution and Comparison of Aridity Indices in Extremadura, Southwestern Spain. *Theoretical and Applied Climatology*. 2016. Vol. 126. P. 801–814.
32. Latief A., Raihana K.H., Sabah P., Syed S.M. Experimental Agrometeorology: A Practical Manual. Cham : Springer International Publishing. 2017. 159 p.
33. Quintarelli V., Radicetti E., Allevato E., Stazi S.R., Haider G., Abideen Z., Bibi S., Jamal A., Mancinelli R. Cover Crops for Sustainable Cropping Systems: A Review. *Agriculture*. 2022. Vol. 12. 2076.
34. Țiței V. The quality of fresh and ensiled biomass from white mustard, *Sinapis alba*, and its potential uses. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*. 2022. Vol. 65. Is. 1. P. 559–566.
35. 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.
36. Manyi-Loh C.E., Lues R. Anaerobic Digestion of Lignocellulosic Biomass: Substrate Characteristics (Challenge) and Innovation. *Fermentation*. 2023. Vol. 9. Is. 8. 755.
37. Oliveira W.K., Słomka A. Assessment of the Biogas Yield of White Mustard (*Sinapis alba*) Cultivated as Intercrops. *Journal of Ecological Engineering*. 2021. Vol. 22. № 7. P. 67–72.
38. Duff J., van Sprang C., O'Halloran J., Hall Z. Guide to Brassica Biofumigant Cover Crops Managing soilborne diseases in vegetable production systems. Horticulture Innovation through VG16068 Optimising cover cropping for the Australian vegetable industry. State of Queensland. Department of Agriculture and Fisheries. 2020. 40 pp.
39. Einarsson R., Persson U.M. Analyzing key constraints to biogas production from crop residues and manure in the EU–A spatially explicit model. *PLoS ONE*. 2017. Vol. 12. № 1. e0171001.
40. Fajobi M.O., Lasode O.A., Adeleke A.A., Ikubanni P.P., Balogun A.O. Prediction of Biogas Yield from Codigestion of Lignocellulosic Biomass Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) Model. *Journal of Engineering* 2023. Article ID 9335814.
41. Shitophyta L.M., Putri S.R., Salsabiella Z.A., Budiarti G.I., Rauf F., Khan A. Theoretical Biochemical Methane Potential Generated by the Anaerobic Digestion of Mustard Green Residues in Different Dilution Volumes. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2023. Vol. 32. № 5. P. 4799–4804.
42. Lymperatou A., Engelsen T.K., Skiadas I.V., Gavala H. N. Prediction of methane yield and pretreatment efficiency of lignocellulosic biomass based on composition. *Waste Management*. 2023. Vol. 155. P. 302–310.
43. Lallement A., Peyrelasse C., Lagnet C., Barakat A., Schraauwers B., Maunas S., Monlau F. A Detailed Database of the Chemical Properties and Methane Potential of Biomasses Covering a Large Range of Common Agricultural Biogas Plant Feedstocks. *Waste*. 2023. Vol. 1. № 1. P. 195–227.
44. Jauhiainen M. Grass Silage as a Feedstock for a Biogas Plant – A feasibility study and development of a cost calculation tool. PhD Thesis. Savonia University of Applied Sciences. 2022. 69 pp.
45. 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.
46. Cerón-Vivas A., Cáceres K.T., Rincón A., Cajigas A.A. Influence of pH and the C/N ratio on the biogas production of wastewater. *Revista Facultad de*

Ingeniería Universidad de Antioquia. 2019. Vol. 92. P. 88–95.

47. Guarino G., Carotenuto C., Di Cristofaro F., Papa S., Morrone B., Minale M. Does the C/N ration really affect the biomethane yield? a three years investigation of buffalo manure digestion. *Chemical Engineering Transactions* 2016. Vol. 49. P. 463–468.

REFERENCES:

- Zhang Q., Hu Y., Jiao J., Wang S. (2024). The impact of Russia-Ukraine war on crude oil prices: an EMC framework. *Humanities and Social Sciences Communications*. Vol. 11. 8.
- Long H., Wang S., Wu W., Zhang G. (2022). The economic influence of oil shortage and the optimal strategic petroleum reserve in China. *Energy Reports*. Vol. 8. P. 9858–9870.
- Bruce D., Bozzetto S., Couturier C., Claudio F., Hilbert J.A., Ong R.G., Richard T., Rossi L., Thelen K.D., Woods J. (2020). The potential for expanding sustainable biogas production and some possible impacts in specific countries. *Biofuels, Bioproducts & Biorefining*. Vol. 14. № 6. P. 1335–1347.
- Kaletnik H., Pryshliak V., Pryshliak N. (2020). Public Policy and Biofuels: Energy, Environment and Food Trilemma. *Journal of Environmental Management & Tourism*. Vol. 10. № 4 (36). P. 479–487.
- Kulichkova G.I., Ivanova T.S., Köttner M., Volodko O.I., Spivak S.I., Tsygankov S.P., Blume Y.B. (2020). Plant Feedstocks and their Biogas Production Potentials. *The Open Agriculture Journal*. Vol. 14. P. 219–234.
- Bonnet C., Gaudio N., Alletto L., Raffailac D., Bergez J-E., Debaeke P., Gavaland A., Willaume M., Bedoussac L., Justes E. (2021). Design and multicriteria assessment of low-input cropping systems based on plant diversification in southwestern France. *Agronomy for Sustainable Development*. Vol. 41. 65.
- Levavasseur F., Kouakou P.K., Constantin J., Cresson R., Ferchaud F., Girault R., Jean-Baptiste V., Lagrange H., Marsac S., Pellerin S., Houot S. (2022). Energy cover crops for biogas production increase soil organic carbon stocks: A modeling approach. *GCB Bioenergy*. Vol. 100. P. 1–15.
- Słomka A., Pawłowska M. (2024). Catch and Cover Crops' Use in the Energy Sector via Conversion into Biogas–Potential Benefits and Disadvantages. *Energies*. Vol. 17. № 3. 600.
- Chapagain T., Lee E.A., Raizada M.N. (2020). The Potential of Multi-Species Mixtures to Diversify Cover Crop Benefits. *Sustainability*. Vol. 12. № 5. 2058.
- Joshi D.R., Sieverding H.L., Xu H., Kwon H., Wang M., Clay S.A., Johnson J.M., Thapa R., Westhoff S., Clay D.E. (2023). A global meta-analysis of cover crop response on soil carbon storage within a corn production system. *Agronomy Journal*. Vol. 115. P. 1543–1556.
- Tsytsiura Y. (2023). Evaluation of oilseed radish (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.) oil as a potential component of biofuels. *Engenharia Agrícola*. Vol. 43. Special issue. e20220137.
- Wollford A.R., Jarvis P.E. (2017). Cover, catch and companion crops. Benefits, challenges and economics for UK growers. Game & Wildlife Trust The Allerton Project. 89 p.
- Lövgren E. (2022). Complete removal of biomass from oilseed radish as a cover crop decreased nitrous oxide emissions. Master's degree project. Swedish University of Agricultural Sciences. 46 p.
- Quintarelli V., Radicetti E., Allevato E., Stazi S.R., Haider G., Abideen Z., Bibi S., Jamal A., Mancinelli R. (2022). Cover Crops for Sustainable Cropping Systems: A Review. *Agriculture*. Vol. 12. 2076.
- Ugrenović V., Filipović V., Jevremović S., Marjanović J.A., Popović V., Buntić A., Delić D. (2019). Effect of Brassicaceae as cover crops. *Selekcija i seme-narstvo*. Vol. 25. № 2. P. 1–8.
- Bhogal A., White C., Morris N. (2019). Project Report №. 620 Maxi Cover Crop: Maximising the benefits from cover crops through species selection and crop management. AHDB Cereals & Oilseeds is a part of the Agriculture and Horticulture Development Board (AHDB). 111 p.
- Ansari M.A., Choudhury B.U., Layek J., Das A., Lal R., Mishra V.K. (2022). 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*. Vol. 218. 105318.
- Tsytsiura Y.H. (2020). Modular-vitality and ideotypical approach in evaluating the efficiency of construction of oilseed radish agrophytocenoses (*Raphanus sativus* var. *oleifera* Pers.). *Agraarteadus*. Vol. 31. № 2. P. 219–243.
- Taherdoost H., Madanchian M. (2023). Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Methods and Concepts. *Encyclopedia*. Vol. 3. № 1. P. 77–87.
- Saaty T.L., Vargas L.G. (2012). Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process. 2th Ed. Springer New York. 345 p.
- Ramírez-García, J., Carrillo, J.M., Ruiz, M., Alonso-Ayuso, M., Quemada M. (2015). Multicriteria Decision Analysis Applied to Cover Crop Species and Cultivars Selection. *Field Crops Research*. Vol. 175. P. 106–115.
- El Amine M., Pailhès J., Perry N. (2016). Selection and use of a multi-criteria decision aiding method in the context of conceptual design with imprecise information: Application to a solar collector development. *Concurrent Engineering: Research and Applications*. Vol. 24. № 1. P. 35–47.
- Hajduk S. (2021). Multi-Criteria Analysis in the Decision-Making Approach for the Linear Ordering of Urban Transport Based on TOPSIS Technique. *Energies*. Vol. 15. 274.
- Justes E., Richard G. (2017). Contexte, Concepts et Definition des cultures intermediaires multiservices. *Innovations Agronomiques*. Vol. 62, № 5. P. 17–32.
- Scavo A., Fontanazza S., Restuccia A., Pesce G.R., Abbate C., Mauromicale G. (2022). The role of cover crops in improving soil fertility and plant nutritional status in temperate climates. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. Vol. 42. № 5. 93.
- Undersander D., Mertens D.R., Thiex N. (1993). Forage analyses. Procedures. National Forage Testing Association. 139 p.
- Ramirez-Garcia J., Almendros P., Quemada M. (2012). Ground cover and leaf area index relationship in a grass, legume and crucifer crop. *Plant, Soil and Environment*. Vol. 58. P. 385–390.
- Gastal F., Lemaire G. (2002). N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological

- perspective. *Journal of Experimental Botany*. Vol. 53. № 370. P. 789–799.
29. Quemada M., Cabrera M.L. (1995). Carbon and nitrogen mineralized from leaves and stems of 4 cover crops. *Soil Science Society of America Journal*. Vol. 59. P. 471–477.
 30. Wong J. (2018). *Handbook of statistical analysis and data mining applications*. Cambridge, Academic Press. 589 p.
 31. Moral F.J., Rebollo F.J., Paniagua L.L., García-Martín A., Honorio F. (2016). Spatial Distribution and Comparison of Aridity Indices in Extremadura, Southwestern Spain. *Theoretical and Applied Climatology*. Vol. 126. P. 801–814.
 32. Latief A., Raihana K.H., Sabah P., Syed S.M. (2017). *Experimental Agrometeorology: A Practical Manual*. Cham : Springer International Publishing. 159 p.
 33. Quintarelli V., Radicetti E., Allevato E., Stazi S.R., Haider G., Abideen Z., Bibi S., Jamal A., Mancinelli R. (2022). Cover Crops for Sustainable Cropping Systems: A Review. *Agriculture*. Vol. 12. 2076.
 34. Țiței V. (2022). The quality of fresh and ensiled biomass from white mustard, *Sinapis alba*, and its potential uses. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*. 2022. Vol. 65. Is. 1. P. 559–566.
 35. Herrmann C., Idler C., Heiermann M. (2016). Biogas crops grown in energy crop rotations: Linking chemical composition and methane production characteristics. *Bioresource Technology*. Vol. 206. P. 23–35.
 36. Manyi-Loh C.E., Lues R. (2023). Anaerobic Digestion of Lignocellulosic Biomass: Substrate Characteristics (Challenge) and Innovation. *Fermentation*. Vol. 9. Is.8. 755.
 37. Oliveira W.K., Słomka A. (2021). Assessment of the Biogas Yield of White Mustard (*Sinapis alba*) Cultivated as Intercrops. *Journal of Ecological Engineering*. Vol. 22. № 7. P. 67–72.
 38. Duff J., van Sprang C., O'Halloran J., Hall Z. (2020). *Guide to Brassica Biofumigant Cover Crops Managing soilborne diseases in vegetable production systems*. Horticulture Innovation through VG16068 Optimising cover cropping for the Australian vegetable industry. State of Queensland. Department of Agriculture and Fisheries. 40 pp.
 39. Einarsson R., Persson U.M. (2017). Analyzing key constraints to biogas production from crop residues and manure in the EU—A spatially explicit model. *PLoS ONE*. Vol. 12. № 1. e0171001.
 40. Fajobi M.O., Lasode O.A., Adeleke A.A., Ikubanni P.P., Balogun A.O. (2023). Prediction of Biogas Yield from Codigestion of Lignocellulosic Biomass Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) Model. *Journal of Engineering* 2023. Article ID 9335814.
 41. Shitophyta L.M., Putri S.R., Salsabiella Z.A., Budiarti G.I., Rauf F., Khan A. (2023). Theoretical Biochemical Methane Potential Generated by the Anaerobic Digestion of Mustard Green Residues in Different Dilution Volumes. *Polish Journal of Environmental Studies*. Vol. 32. № 5. P. 4799–4804.
 42. Lymperatou A., Engelsens T.K., Skiadas I.V., Gavala H.N. Prediction of methane yield and pretreatment efficiency of lignocellulosic biomass based on composition. *Waste Management*. 2023. Vol. 155. P. 302–310.
 43. Lallement A., Peyrelasse C., Lagnet C., Barakat A., Schraauwers B., Maunas S., Monlau F. (2023). A Detailed Database of the Chemical Properties and Methane Potential of Biomasses Covering a Large Range of Common Agricultural Biogas Plant Feedstocks. *Waste*. Vol. 1. № 1. P. 195–227.
 44. Jauhiainen M. (2022). Grass Silage as a Feedstock for a Biogas Plant – A feasibility study and development of a cost calculation tool. PhD Thesis. Savonia University of Applied Sciences. 69 pp.
 45. Choi Y., Ryu J., Lee S.R. (2020). 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*. Vol. 62. № 1. P. 74–83.
 46. Cerón-Vivas A., Cáceres K.T., Rincón A., Cajigas A.A. (2019). Influence of pH and the C/N ratio on the biogas production of wastewater. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*. Vol. 92. P. 88–95.
 47. Guarino G., Carotenuto C., Di Cristofaro F., Papa S., Morrone B., Minale M. (2016). Does the C/N ration really affect the biomethane yield? a three years investigation of buffalo manure digestion. *Chemical Engineering Transactions* 2016. Vol. 49. P. 463–468.
- Цицюра Я.Г. Продуктивний та біохімічний потенціал листостеблової маси редьки олійної як критерій її можливого використання у якості сировини для виробництва біогазу**
- Метою** досліджень було оцінити біогазовий потенціал редьки олійної з позиції комплексу продуктивних та біохімічних показників якості сформованої надземної біомаси спираючись на світовий досвід у визначенні ролі головних критеріїв доцільності за варіанту проміжного (літнього) її вирощування.
- Методи.** Дослідження було проведено впродовж 2014–2023 років на базі дослідного поля Вінницького НАУ на сірих лісових ґрунтах з середнім потенціалом родючості. Повторність у досліді чотирьохразова. Розміщення варіантів – систематичне у два яруси. Дослід передбачав визначення виходу біомаси у сухій речовині, динаміка ґрунтового покриття та комплексу базових біохімічних показників визначальних у оцінці придатності рослинної сировини до біогазової ферментації на основі системного підходу факторного аналізу багатокритеріальної підтримки прийняття рішень.
- Результати.** Встановлена можливість ефективного використання сформованої за літнього (проміжного) строку сівби листостеблової маси редьки олійної у якості потенційної сировини для отримання біогазу. Доведений високий біопродуктивний потенціал редьки олійної у варіантах проміжних літніх посівах із середнім десятирічним потенціалом 2,82 т/га сухої речовини з досяжністю на 50–60 добу після сівби при рівні ґрунтового рослинного покриття у 75–80%. Встановлено, що за біохімічним портфоліо рослинної біомаси редька олійна не поступається широкоживим у біогазовій сфері хрестоцвітним культурам маючи багаторічне співвідношення C/N на рівні 10–18 одиниць, комплексну якість рослинної сировини на рівні 81,0% за вмісту клітковини на рівні 24,0% на суху речовину, вміст глюкозинолатів на рівні 19,7 μmol/g сухої речовини.
- Висновки.** За рівнем біопродуктивності та адаптивності з огляду на співставне міжрічне варіювання показників та мінливості гідротермічних параметрів періоду формування листостеблової маси, а також базовими біохімічними параметрами у системі факторного аналізу багатокритеріальної підтримки прийняття рішень

та його складових доведена висока потенційна можливість використання листостеблової маси редьки олійної сформованої за літньої (проміжної) сівби із середнім рівнем атрибутивної нормалізованої критерійної оцінки 0,829 при міжрічній мінливості показника у 5,5%.

Ключові слова: біопродуктивність, рослинне покриття ґрунту, листостеблова маса, біохімічний склад, анаеробна дигестація.

Tsytysura Ya.G. Productive and biochemical potential of oil radish leaf mass as a criterion for its possible use as a raw material for biogas production

The aim of the study was to evaluate the biogas potential of oil radish from the standpoint of a set of productive and biochemical indicators of the quality of the formed aboveground biomass, based on world experience in determining the role of the main criteria of feasibility in the variant of intermediate (summer) cultivation.

Methods. The study was conducted during 2014–2023 on the basis of the experimental field of Vinnytsia National Academy of Sciences on gray forest soils with medium fertility potential. The experiment was replicated four times. The arrangement of the variants was systematic in two tiers. The experiment included determination of biomass yield in dry matter, dynamics of soil cover and a set of basic biochemical parameters determining the suitability of plant material for biogas fermentation based on a systematic approach of factor analysis of multicriteria decision support.

Results. The possibility of effective use of oil radish leaf mass formed during the summer (intermediate) sowing period as a potential raw material for biogas production was established. The high bioproducer potential of oil radish in variants of intermediate summer sowing with an average ten-year potential of 2.82 t/ha of dry matter with an achievable yield of 50–60 days after sowing at a level of soil vegetation coverage of 75–80% was proved. It has been established that the biochemical portfolio of plant biomass of oil radish was not inferior to cruciferous crops widely used in the biogas industry, having a long-term C/N ratio of 10–18 units, a complex quality of plant material at the level of 81.0% with a fiber content of 24.0% on a dry basis, and a glucosinolate content of 19.7 $\mu\text{mol/g}$ dry matter.

Conclusions. According to the level of bioproducer and adaptability, taking into account the comparable interannual variation of indicators and variability of hydrothermal parameters of the period of leaf-stem mass formation, as well as basic biochemical parameters in the factor analysis system of multicriteria decision support and its components, a high potential possibility of using the leaf-stem mass of oil radish formed during summer (intermediate) sowing with an average level of attributive normalized criterion score of 0.829 with interannual variability of the indicator was proved.

Key words: bioproducer, soil vegetation, leaf and stem mass, biochemical composition, anaerobic digestion.