



УДК 635.15:631.5

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.28>

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ КОЕФІЦІЄНТУ ПРОДУКТИВНОСТІ КОРЕНЕВОЇ СИСТЕМИ РЕДЬКИ ОЛІЙНОЇ ДЛЯ ОЦІНКИ ПОТЕНЦІАЛУ ЇЇ СИДЕРАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ

Я. Г. Цицюра¹

Відмічено, що сучасні системи удобрення орієнтовані на зростання частки використання біоорганічних ресурсів у формі сидеральної біомаси та інших альтернативних джерел біоорганіки. Це забезпечує гармонізацію агротехнологій вирощування основних культур з позиції екологізації системи удобрення та забезпечення наближених до природніх процесів ґрунтозбереження та ґрунтореабілітації. За десятирічний період (2014–2023 рр.) проведено оцінку біопродуктивності редьки олійної за базовим критерієм коефіцієнту продуктивності кореневої системи із супутнім аналізом динаміка формування надземної фітомаси та кореневої біомаси з метою визначення потенціалу даного виду для використання у сидеральних варіантах технологій на ґрунтах невисокого потенціалу ґрунтових умов родючості (сірі лісові ґрунти). Оцінка динаміки наростання надземної листостеблової та кореневої біомаси редьки олійної як потенційного кандидата для системи сидеральних технологій засвідчила його значення на рівні 2,97–3,63 для весняного та 1,83–2,51 для літнього строку сівби за величини частки коренів у загальній біомасі на рівні 30–58%. Доведено адаптивність редьки олійної із можливістю формування диспаратного співвідношення надземної біомаси за фізіологічно мінімальної величини сформованої маси коренів, що дозволяє рекомендувати редьку олійну як сидерат у варіантах літнього проміжного використання за зростання коефіцієнту аридності та зниження коефіцієнту зволоження відповідних сільськогосподарських регіонів. Визначено кореляційно-регресійну залежність у спряженому формуванні кореневої системи і надземної частини рослин із рівнем прямої залежності при детермінації зв'язку на рівні 70,4% для виходу сухої речовини та 83,7% для виходу у загальній сирій масі.

Ключові слова: біопродуктивність, надземна фітомаса, коренева біомаса, коефіцієнтів співвідношення, сидерація.

¹ кандидат сільськогосподарських наук, доцент
кафедри землеробства, ґрунтознавства та агрохімії
(Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця)
e-mail: yaroslavtsyura@ukr.net
ORCID: 0000-0002-9167-833X

PECULIARITIES OF FORMATION OF PRODUCTIVITY COEFFICIENT OF OILSEED RADISH ROOT SYSTEM FOR ASSESSMENT OF ITS GREEN MANURE USE POTENTIAL

Y. G. Tsytsiura

It is noted that modern fertilisation systems are focused on increasing the share of bioorganic resources in the form of green manure and other alternative sources of bioorganics. This ensures the harmonisation of agrotechnologies for growing major crops from the point of view of greening the fertilisation system and ensuring close to natural processes of soil conservation and soil rehabilitation. Over a ten-year period (2014–2023), the bioproductivity of oilseed radish was assessed by the basic criterion of the root system productivity coefficient with the accompanying analysis of the dynamics of aboveground phytomass and root biomass formation in order to determine the potential of this species for use in green manure technologies on soils with low potential of soil fertility conditions (grey forest soils). Assessment of the dynamics of growth of oil radish aboveground leaf and root biomass as a potential candidate for green manure technologies showed its value at the level of 2,97–3,63 for spring and 1,83–2,51 for summer sowing at the value of the share of roots in the total biomass at the level of 30–58%. The adaptability of oilseed radish with the possibility of forming a disparity ratio of aboveground biomass at the physiologically minimum value of the formed root mass was proved, which allows to recommend oilseed radish as a green manure in variants of summer intermediate use with an increase in the aridity coefficient and a decrease in the moisture coefficient of the corresponding agricultural regions. The correlation-regression dependence in the conjugate formation of the root system and the aboveground part of plants was determined with a level of direct dependence at the determination of the relationship at the level of 70,4% for the yield of dry matter and 83,7% for the yield in total crude weight.

Key words: bioproductivity, aboveground phytomass, root biomass, correlation coefficients, green manure.

Вступ

Сучасна світова практика агротехнологій вже тривалий час переосмислює основні підходи до регулятивних складових їх виробничої імплементації. Особливе місце займають зміни у системах удобрення зумовлені рядом причин, а саме: дефіцитом класичних органічних добрив; тенденцією до зростання цін на добрива; зниження ефективності їх використання зумовлене загальними дегредаційними процесами ґрунтового покриву, різким погіршенням екологічного стану агроєкосистем (Глушченко та ін., 2016). Всі ці фактори у результаті підсумку створюють умови для відмови від класичних схем удобрення та поступове і стає повернення до органо-мінеральних та біоорганічних систем різного характеру та складності. Людство все більше схиляється до системи удобрення із високим індексом екологізації (Гончарук та ін., 2020).

Серед заходів, які забезпечують досягнення оптимізованих варіантів екологізації удобрення виділяється сидерація як один із способів удобрення, який повністю імітує природно-системні методи агроєкологічного біоциклу органічної речовини від її синтезу у вигляді рослинної біомаси до поступового розкладу та утилізації за різноманітними біологічними схемами колообігу (Цицюра та

ін., 2022). Свідченням ефективності сидерації є її домінування у складі так званих органічних технологій вирощування на більшості континентів світу. Для сидерації використовується у агротехнологічній світовій практиці понад 250 видів рослин різного еколого-біологічного характеру та адаптивного потенціалу. Україна також має власний асортимент таких видів відпрацьованих у різних ґрунтово-кліматичних зонах за останніх 50 років (Шувар, 2015; Цицюра та ін., 2022; Green ..., 2023).

Особливості сидерації в українських технологічних та ґрунтово-екологічних реаліях описано у цілому ряді монографічних досліджень (Шувар, 2015; Писаренко та ін., 2016; Іванишин та ін., 2016; Дегодюк та ін., 2020; Цицюра та ін., 2022). Проте не дивлячись на таку вивченість, багато питань ефективності та доцільності сидерації як особливої парадигми землеробства залишаються невирішеними.

Одним із таких питань є двохстороння оцінка сформованої фітомаси сидерату як надземної, так і кореневої, оскільки більшість оцінок сидератів стосуються лише саме надземної фітомаси, яка розглядається як основне джерело зелених органічних добрив. При цьому коренева фітомаса оцінюється лише з позиції прогнозованої від-

носною кількістю за відомими коефіцієнтами співвідношення, які можливо втратили свою актуальність з позиції як зміни екологічного становища територій, так і з позиції глобальних кліматичних змін. По своїй суті ми не володіємо достатньою інформацією про співвідношення між обома формами сформованої фітомаси, а це значно звужує наше уявлення про потенціал культури певного виду як сидерату у конкретних ґрунтово-кліматичних умовах та не дозволяє адекватно оцінити потенціал надходжень органіки у ґрунт.

Виходячи із цієї позиції, дослідження питання спряженої біопродуктивності надземної та підземної частин рослин сидератів у їх співвідношенні та морфопродуктивному аналізі є питанням, що потребує додаткового наукового узагальнення та аналізу, для гарантування розробки високоефективних сидеральних систем землеробства, направлених, у першу чергу, на ґрунтозбереження та ґрунтореабілітацію.

Програмою досліджень було передбачено проаналізувати у багаторічному вимірі коефіцієнт продуктивності кореневої системи однієї із перспективних видів, з позиції багатокритерійного використання у системі сидераційних технологій – редьки олійної (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.).

Матеріал і методи

Дослідження проводились впродовж 2014–2023 рр. на дослідному полі Вінницького національного аграрного університету (N 49°11'31", E 28°22'16") на сірих лісових ґрунтах. Агрохімічний потенціал поля мав такі середньобогаторічні показники: 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 якості дослідного об'єкта було використано поширений у регіоні досліджень сорт редьки олійної Журавка. Це високоврожайний сорт комбінованого використання (листочестоблова маса та насіння). Укісна стиглість настає через 45–50 діб після сівби. Післяукісні посіви формують понад 300 ц/га високобілкової маси. У 100 кг листочестоблової маси міститься 12–16 к. о., 12–14% сухої речовини, 26–29% сирого протеїну. Зелена маса добре поїдається тваринами, широко використовується як сидерат. Сорт стійкий до посухи, середньостійкий до вилягання. Ураження хворобами середня (бактеріозом – 11,5%; переноспорозом – 3,5%).

Рекомендований для зон Степу і Лісостепу як олійний та кормовий. Занесений до реєстру сортів рослин України з 2000 року (Цицюра та ін., 2022).

Досліди закладались на неудобреному фоні при кількісній нормі висіву 2,5 млн. насінин/га (30–35 насінин на 1 погонний метр рядка) звичайним рядковим способом (міжряддя 15 см). Застосована норма висіву та ширина міжрядь відповідала варіанту кормово-сидерального використання редьки олійної за результатами комплексної оцінки віталітетної структури агроценозу (Tsytisura, 2020). За єдиних параметрів передпосівного конструювання агроценозу, вивчалися дві системи використання редьки олійної прийнятих у зоні досліджень у варіанті зайнятого пару (ранньовесняна сівба) та проміжний (літня сівба):

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

II. Система проміжного (літнього) використання за сівби відразу після збирання попередника з проміжним комбінованим обробітком ґрунту (плоскоріз + ротаційне розпушування із вирівнюванням) на глибину 12–14 см у другій-третьій декаді липня при даті фенологічного досягнення оптимальної фази багатоконпонентного використання біомаси редьки олійної – фаза цвітіння (ВВСН 64–67) – на другу-третю декаду жовтня.

Дослідні ділянки було сформовано у чотирьохразовій повторності методом дрібноділянкової рендомізації (загальна площа ділянки 35 м² облікова площа 25 м²). Феностадійний розвиток рослин редьки олійної реєстрували за шкалою ВВСН (Test Guidelines, 2017).

Облік надземної листочестоблової біомаси (ЛМ) рослин проводили 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. Перед зважуванням та наступними польовими і лабораторними маніпуляціями із пробних снопів видалялись будь-які іншovidові домішки рослин. Фаза цвітіння була вибрана для обох варіантів сидерації як

така, яка є досяжною для обох варіантів та відповідає рекомендаціям щодо біофумігантного та сидерального використання редьки олійної в умовах нестійкого зволоження у різних ґрунтових зонах (Duff et al., 2020). Частина облікових ділянок вибиралась з умовою співпадання периметру обліку надземної біомаси із системою монолітного аналізу сформованих кореневих систем. Коефіцієнт продуктивності кореневої системи (КПКС) розраховували відповідно до Poorter et al. (2012) як відношення сирової (сухої) надземної біомаси рослин до маси сформованих коренів, а частку кореневих решток у загальній біомасі рослин визначали як відношення маси коренів до надземної маси рослини виражене у %.

Оцінка формування біомаси кореневої системи рослин редьки олійної проводили на аналогічну фенофазу, що й для оцінки формування надземної біомаси рослин методом монолітів (відповідно до методики Wahlström et al., 2015).

Вміст сухої речовини (СР) визначали шляхом висушування в сушильній шафі за температури 105 °С, а потім озолення висушеного зразка за температури 550 °С.

Аналіз погодних умов та рівня їх мінливості за період 2014–2023 рр. проводився на основі гідротермічного коефіцієнту (ГТК) (рівняння 1), індексу посушливості ($I_{п}$) (рівняння 2), коефіцієнту зволоження ($K_з$) (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

$$I_{п} = \frac{12P_{оп}}{T_{сеп.} + 10}, \quad (2)$$

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

$$K_з = \frac{P}{E} \quad (3)$$

де: $K_з$ – коефіцієнт зволоження; P – сума опадів за аналізований період, мм; E – випаровуваність за аналізований період.

Дані показників гідротермічного режиму вегетації представлено у таблиці 1.

Отримані дослідні дані піддавались загальноприйнятим статистичним та регресійно-кореляційним методам аналізу (Wong et al., 2018).

Результати

Як за весняного (табл. 2), так і за літнього строку сівби редька олійна показала

чутливу широку норму реакції на зміну гідротермічних умов зволоження. Цей вплив реалізовувався через істотну відмінність та варіативність біомаси як надземної, так і підземної частини рослин та відповідних супутніх співвідношень, Вищий рівень продуктивності надземної біомаси у середньому за період вивчення було визначено за весняного строку сівби 24,04 т/га за рівня міжрічного варіювання 30,55%.

Вихід біомаси коренів для цього ж строку були 8,70 т/га та 44,70%, За літнього строку сівби показники було відмічено на такому послідовному рівні 18,34 т/га (32,80%) та 5,50 т/га (38,95%). У підсумку загальна біопродуктивність редьки олійної (сума надземної та кореневої біомаси) за весняного строку сівби склала у сирій масі 32,74 т/га (34,06% міжрічної мінливості) та у сухій речовині 4,92 т/га (29,47%). Дані показники на 8.90 та 0.86 т/га нижчі у середньому для варіанту літнього строку сівби.

За отриманих показників біопродуктивності редьки олійної коефіцієнт продуктивності кореневої системи у виразі отриманої сирової біомаси у середньому за повний період вивчення склав 2,97 (20,33%) за весняного та 3,63 (33,69%) за літнього строку сівби. У еквіваленті сухої речовини ці показники становили 1,83 (22,82%) та 2,51 (33,53%).

При цьому зворотне співвідношення кореневої маси до надземної для весняного строку сівби було 0,35 у виразі сирової маси та 0,57 у виразі сухої речовини за рівня міжрічного варіювання 18,67–21,24%, Для літнього строку сівби дані показники були на рівні 0,30 і 0,43 та 22,98–23,63% відповідно. При цьому інертність росту надземної частини при зупиненні росту підземної також доведена. Це підтверджено зниженням рівня міжрічної варіації показника співвідношення біомаси коренів до біомаси надземної частини з коефіцієнтом 1,88 для весняного строку сівби та 1,54 для літнього строку сівби.

Вказана інертність, яка визначає збереження інтенсивності ростових процесів, за рахунок більш вираженої стресостійкості кореневої системи, дозволяє рослинам редьки олійної пристосовуватись до можливих середньотривалих періодів аридизації та забезпечувати формування надземної біомаси рослин на рівні 50% від середньобаторічного показника в роки із низьким значенням індексу посушливості ($I_{п}$) та коефіцієнта зволоження ($K_з$). До прикладу це характерно для умов 2015 року (див. табл. 1)

Таблиця 1

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

Рік	Сума опадів, мм (IV-VI)	$t_{\text{сеп.}}^{\circ\text{C}}$ (IV-VI)	Місяці періоду вегетації											
			IV			V			VI					
			ГТК	$I_{\text{п}}$	K_3	ГТК	$I_{\text{п}}$	K_3	ГТК	$I_{\text{п}}$	K_3			
Весняний строк сівби														
2014	339,6	13,84	0,72	45,7	1,18	3,93	88,9	2,11	1,55	34,8	0,83			
2015	142,3	14,36	0,64	37,3	0,78	0,92	20,6	0,41	0,72	16,9	0,27			
2016	193,4	15,06	0,30	21,6	0,44	0,49	40,4	0,99	1,27	29,9	0,75			
2017	125,1	14,07	3,92	39,2	0,75	0,78	16,8	0,34	0,50	11,9	0,22			
2018	170,8	16,38	0,29	10,8	0,19	0,31	7,2	0,12	4,40	103,7	2,31			
2019	398,5	15,39	0,57	33,5	0,72	4,9	111,0	3,29	1,68	41,4	0,96			
2020	343,8	13,67	0,09	36,4	0,50	5,33	106,4	3,18	1,55	37,3	0,89			
2021	282,8	13,26	0,23	38,8	0,96	3,13	66,7	1,64	1,68	39,8	1,00			
2022	242,1	14,30	0,56	57,4	2,33	1,43	31,3	0,79	1,50	36,1	0,85			
2023	239,8	14,18	1,54	91,5	3,33	0,08	1,9	0,04	1,64	38,9	0,87			
Рік	Сума опадів, мм (VII-X)	$t_{\text{сеп.}}^{\circ\text{C}}$ (VII-X)	Місяці періоду вегетації											
			VII			VIII			IX			X		
			ГТК	$I_{\text{п}}$	K_3	ГТК	$I_{\text{п}}$	K_3	ГТК	$I_{\text{п}}$	K_3	ГТК	$I_{\text{п}}$	K_3
Літній строк сівби														
2014	250,8	15,4	1,31	32,7	0,77	1,05	26,0	0,51	1,25	25,7	0,56	1,77	35,8	0,93
2015	160,8	16,6	0,32	8,1	0,14	0,12	3,1	0,05	1,18	26,8	0,63	3,04	49,4	1,25
2016	212,7	15,6	1,06	26,5	0,55	0,90	22,0	0,43	0,01	2,5	0,05	0,55	63,4	2,45
2017	318,0	16,0	1,52	37,5	0,72	0,82	20,7	0,38	3,10	61,2	1,57	1,07	30,0	1,26
2018	273,4	16,4	2,16	53,4	1,63	0,59	14,6	0,30	1,38	27,2	0,71	0,87	27,6	0,95
2019	161,7	16,0	1,01	24,4	0,56	0,24	5,9	0,11	0,99	20,7	0,42	0,38	27,4	0,93
2020	245,4	17,6	0,59	14,7	0,31	0,53	13,2	0,22	0,86	27,5	0,54	2,54	60,6	3,05
2021	176,9	15,4	0,78	20,1	0,45	1,46	35,7	0,91	0,71	17,6	0,51	0,00	1,7	0,04
2022	436,6	16,0	0,90	22,4	0,58	1,71	43,1	1,06	4,96	98,1	2,60	3,17	51,4	1,50
2023	247,1	18,3	1,41	35,8	0,82	0,65	16,9	0,36	1,01	23,4	0,63	1,03	29,9	0,93

для обох строків сівби редьки олійної та для умов 2017 року для весняного строку сівби. Вказані процеси зниження темпів росту рослин редьки олійної прогнозовано будуть зростати за одночасного підвищення істотності відхилення від оптимуму як умов надземних, так і підземних режимів температури та зволоження. При цьому для редьки олійної можливий варіант інтенсивного формування кореневої біомаси за мінімальних темпів формування надземної що можливе вже при рівневі співвідношення частки коренів до частки вегетуючих частин у значенні вищим за 0,25. Це наглядно підтверджує візуалізація співставної залежності між підземною та надземною біомасою у загальному масиві даних за період досліджень (рис. 1). Зокрема встановлено отримання

позитивного числового значення надземної біомаси за нульового значення біомаси коренів а також відповідність абсцисного кроку графіка у 4 одиниці, яка відповідає аналогічному ординатному кроку у 15 одиниць для показників сформованої сирової біомаси рослин (Позиція А). Для цього ж показника у сухій речовині на 2 одиниці абсциси графіка припадає 3,5 одиниць ординатного положення (Позиція В). Тобто сила зв'язку знижується у випадку переведення біомаси на суху речовину, що підтверджується істотно нижчим значенням коефіцієнту кореляції (зниження 15,9% у співставленні до сирової біомаси) та є свідченням вираженої асинхронності між вмістом сухої речовини у надземній та підземній частинах біомаси рослин. При цьому вказана різниця зростає

Таблиця 2

Показники біопродуктивності редьки олійної за різних строків сівби на фазу цвітіння (ВВСН 64-67), 2014–2023 рр.

Показники	Роки обліків										НІР ^{0,5}
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
ЛМ, т/га	*33,49	20,11	21,29	15,22	13,89	35,75	30,88	24,12	21,18	24,48	1,39
	**22,21	9,49	21,05	23,79	23,12	10,11	11,29	16,22	24,77	21,39	1,29
Вміст СР у ЛМ, %	12,23	14,12	14,19	13,75	15,11	11,27	12,73	11,81	13,28	13,09	0,64
	15,17	17,52	15,97	14,27	14,91	17,15	16,08	16,83	13,43	15,75	1,11
ЛМ у СР, т/га	4,10	2,84	3,02	2,09	2,10	4,03	3,93	2,85	2,81	3,20	0,24
	3,37	1,66	3,36	3,39	3,45	1,73	1,82	2,73	3,33	3,37	0,27
КБМ, т/га	13,28	7,88	6,22	4,47	3,39	14,85	13,02	9,57	7,44	6,87	1,15
	6,59	1,39	5,77	7,21	5,52	3,58	3,09	6,49	8,03	7,33	0,60
Вміст СР у КБМ, %	20,42	23,12	21,73	22,84	23,95	20,68	19,84	19,09	21,47	21,11	0,88
	22,17	25,18	23,12	21,08	23,29	20,15	22,68	23,32	21,91	23,52	1,08
КБМ у СР, т/га	2,71	1,82	1,35	1,02	0,81	3,07	2,58	1,83	1,60	1,45	0,26
	1,46	0,35	1,33	1,52	1,29	0,72	0,70	1,51	1,76	1,72	0,13
КПКС (сиря маса)	2,52	2,55	3,42	3,40	4,10	2,41	2,37	2,52	2,85	3,56	0,62
	3,37	6,83	3,65	3,30	4,19	2,82	3,65	2,50	3,08	2,92	0,48
КПКС (суха речовина)	1,51	1,56	2,24	2,05	2,59	1,31	1,52	1,56	1,76	2,21	0,38
	2,31	4,75	2,52	2,23	2,68	2,40	2,59	1,80	1,89	1,95	0,32
Частка КБМ (сиря маса), %	28,39	28,15	22,61	22,70	19,62	29,35	29,66	28,41	26,00	21,91	1,05
	29,67	14,65	27,41	30,31	23,88	35,41	27,37	40,01	32,42	34,27	1,67
Частка КБМ (суха речовина), %	39,83	39,08	30,91	32,79	27,89	43,25	39,65	39,07	36,22	31,16	0,56
	43,36	21,05	39,68	44,77	37,29	41,60	38,60	55,44	52,89	51,17	3,56

* – за весняного строку сівби; ** – за літнього строку сівби.

за зміни строків сівби із весняних на літні (див. табл. 2). Отримані дані дають підстави стверджувати, що за оптимальних умов ґрунтового зволоження та живлення на фоні інтенсивного наростання середньодобових температур та певної тривалості відсутності опадів, редька олійна здатна зберігати високі темпи ростових процесів, що дозволяє використовувати її як проміжну культуру в умовах жарких циклів періодів між основними культурами сівозміни. Це ґрунтується як на високих значеннях прямого, так і оберненого співвідношення надземної та підземної біомаси рослин редьки олійної у досліді. Такий рівень співвідношення, особливо за зростання частки кореневої біомаси у загальній сухій біомасі рослин у середньому на 10,31–13,05% залежно від строків сівби – також засвідчив високу ймовірну позитивну реакцію рослин редьки олійної на додаткове мінеральне живлення та високу інтенсивність акумуляції основних елементів живлення у сформованій біомасі рослин.

Обговорення

Відповідно до представлених результатів біопродуктивності як у значенні виходу надземної, так і виходу кореневої біомаси на середньому рівні вище 20 т/га загальної сформованої біомаси (з огляду на складну динамічну систему варіювання гідротермічних умов періоду досліджень із загальною оцінкою від несприятливих до оптимальних) – редьку олійну можна віднести до високопродуктивних сидеральних культур з розвинутими адаптивними механізмами формування біомаси рослин, що узгоджується із градаціями оцінки для літніх різновидових культур проміжного та сидерального використання (Quintarelli et al., 2022). Це ж підтверджується співставленням отриманих даних з іншими широкоживаними хрестоцвітими культурами за сидерального їх використання (гірчиця біла, ярий і озимий ріпак, суріпиця яра і озима, тифон, редька кормова) з рівнем біопродуктивності надземної фітомаси в інтервалі 11–40 т/га та кореневої біомаси в інтервалі 5–25 т/га за

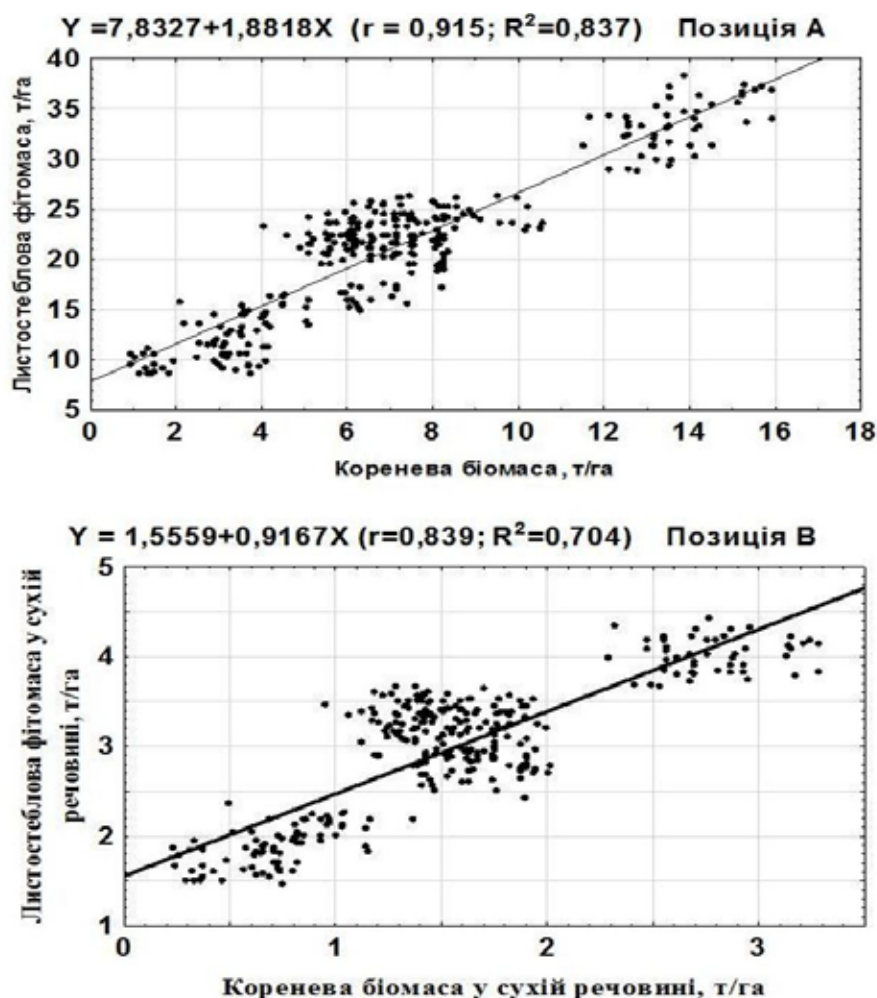


Рис. 1. Графічна інтерпретація залежності між сформованою надземною фітомасою та кореневою біомасою редьки олійної в усередненому масиві даних (роки-повторення-строки сівби), 2014–2023 рр.

різних ґрунтово-кліматичних умов (Ramirez-Garcia et al., 2015; Ugrenović et al., 2019; Safaei et al., 2022; Țiței, 2022).

Визначена частка кореневої маси у загальній фітомасі рослин на рівні 35–58% з огляду на дослідження Vlaha (2021) вказують на швидкі темпи росту рослин редьки олійної для обох частин рослин з паритетним розвитком надземної маси та наявності чутливої стрес реакції за погіршення ґрунтових умов з позиції зволоження, аерації тощо. А коефіцієнт варіації показника продуктивності кореневої системи на рівні 20,5–22,8% для сирої фітомаси рослин та 30,7–33,5% для фітомаси у сухій речовині на фоні мінливості ГТК на рівні 19,8% та коефіцієнту аридності на рівні 27,4% підтверджують можливість адаптації рослин редьки олійної до формування диспаратетно вищої надземної фітомаси за мінімально-необхідного формування величини кореневої фітомаси.

Це узгоджується із висновками Heuermann et al. (2019) на гірчиці білій у стресові роки її вегетації. Подібні дослідження Kemper et al. (2020) показали швидкі темпи укорінення редьки олійної з формуванням значної кореневої біомаси за вищих темпів цього процесу за зниження норми висіву при використанні редьки олійної як проміжної покривної чи сидеральної культури при коливанні частки кореневої біомаси у загальній фітомасі від 18 до 50%.

Слід відмітити також, що висока частка кореневої біомаси у загальній біомасі рослин редьки олійної у середньому за повний цикл досліджень (за весняного строку сівби 25.68% (міжрічне варіювання 14.19%) та 29.54% (23.63%) за літнього строку сівби) – вказує на користь високого рівня адаптації редьки олійної до умов ґрунтового живлення з позиції можливості отримання високих рівнів продуктивності на ґрунтах із невисоким агрохімічним

потенціалом. Це підтверджено дослідженнями Redin et al. (2018) та Lopez et al. (2023).

Висновки

Динаміка змін коефіцієнту продуктивності кореневої системи редьки олійної з огляду на високу ступінь міналивості гідротермічних умов вегетації вказує на високий прогнозований агротехнологічний потенціал редьки олійної щодо її використання

у якості сидеральної культури на ґрунтах із невисоким потенціалом умов ґрунтової родючості (сірі лісові ґрунти) як за весняних, так і за проміжних (літніх) строків сівби з гарантованим мінімумом отримання загальної сидеральної фітомаси у роки із екстремально несприятливими умовами за гідротермічним режимом на рівні 10–12 т/га у сирій та 2,0–2,4 т/га у сухій речовині.

Список використаної літератури

Глуценко М.К., Крупко Г.Д. Особливості застосування сидерації та роль зелених добрив у підвищенні родючості ґрунтів. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. 2016. Вип. 3 (75). С. 173–178.

Гончарук І.В., Ковальчук С.Я., Цицюра Я.Г., Лутковська С.М. Динамічні процеси розвитку органічного виробництва в Україні. Вінниця : ТОВ «ТВОРИ», 2020. 478 с.

Дегодюк С.Е., Дегодюк Е.Г., Проненко М.М., Ігнатенко Ю.О., Пипчук Н.М., Мулярчук А.О. Ефективність застосування відновлюваних місцевих ресурсів за органічного землеробства: науково-методичні рекомендації. Вінниця : ТОВ «ТВОРИ», 2020. 48 с.

Іванишин В.В., Роїк М.В., Шувар І.А., Центило А.В., Сендецький В.М., Бунчак О.М., Колісник Н.М. Біологізація землеробства в Україні: реалії та перспективи: науково-виробниче видання. Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2016. 284 с.

Писаренко В.М. Антонєць А.С., Лук'яненко Г.В. Система органічного землеробства агроєкологів С.С. Антонця. Полтава, 2016. 131 с.

Цицюра Я.Г., Неїлик М.М., Дідур І.М., Поліщук М.І. Сидерація як базова складова біологізації сучасних систем землеробства. Монографія. Вінниця : Видавець ТОВ «Друк», 2022. 770 с.

Шувар І.А. Сидерати в сучасному землеробстві. Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2015. 156 с.

Bláha L. Importance of Root-Shoot Ratio for Crops Production: A Review. *Current Topics in Agricultural Sciences*. 2021. Vol. 1. P. 37–49. <https://doi.org/10.9734/bpi/ctas/v1/12112D>.

Duff J., van Sprang C., O'Halloran J., Hall Z. Guide to Brassica Biofumigant Cover Crops Managing soilborne diseases in vegetable production systems. Horticulture Innovation through VG16068 Optimising cover cropping for the Australian vegetable industry. State of Queensland. Department of Agriculture and Fisheries. 2020. 40 p.

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

Heuermann D., Gentsch N., Boy J., Schweneker D., Feuerstein U., Groß J., Bauer B., Guggenberger G., von Wirén N. Interspecific competition among catch crops modifies vertical root biomass distribution and nitrate scavenging in soils. *Scientific Reports*. 2019. Vol. 9. № 1. e11531. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-48060-0>.

Kemper R., Bublitz T.A., Müller P., Kautz T., Döring T.F., Athmann M. Vertical root distribution of different cover crops determined with the profile wall method. *Agriculture*. 2020. Vol. 10. e503. <https://doi.org/10.3390/agriculture10110503>.

Lopez G., Ahmadi S.H., Amelung W., Athmann M., Ewert F., Gaiser T., Gocke M.I., Kautz T., Postma J., Rachmilevitch S., Schaaf G., Schnepf A., Stoschus A., Watt M., Yu P., Seidel S.J. Nutrient deficiency effects on root architecture and root-to-shoot ratio in arable crops. *Frontiers Plant Science*. 2023. Vol. 13. e1067498. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1067498>.

Poorter H., Niklas K.J., Reich P.B., Oleksyn J., Poot, P., Mommer L. Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control. *New Phytologist*. 2012. Vol. 193. P. 30–50. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03952.x>.

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. <https://doi.org/doi:10.3390/agriculture12122076>.

- Ramirez-Garcia J., Gabriel J.L., Alonso-Ayuso M., Quemada M. Quantitative characterization of five cover crop species. *The Journal of Agricultural Science*. 2015. Vol. 153. № 7. P. 1174–1185. <https://doi.org/10.1017/S0021859614000811>.
- Redin M., Recous S., Aita C., Chaves B., Pfeifer I.C., Bastos L.M., Pilecco G.E., Giacomini S.J. Root and shoot contribution to carbon and nitrogen inputs in the topsoil layer in no-tillage crop systems under subtropical conditions. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2018. Vol. 42. e0170355.
- Safaei A.R., Rouzbehan Y., Aghaalikhani M. Canola as a potential forage. *Translational Animal Science*. 2022. Vol. 6. № 3. txac100.
- Test Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability of Fodder Radish (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.). 2017. Geneva, 23 p.
- Ťiței 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. Issue 1. P. 559–566.
- 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. <https://doi.org/10.15159/jas.20.27>.
- Ugrenović V., Filipović, V., Jevremović, S., Marjanović J.A., Popović, V., Buntić A., Delić, D. Effect of Brassicaceae as cover crops. *Selekcija i semenarstvo*. 2019. Vol. 25. № 2. P. 1–8. <https://doi.org/10.5937/SelSem1902001U>.
- Wahlström E.M., Hansen E.M., Mandel A., Garbout A., Kristensen H.L., Munkholm L.J. Root development of fodder radish and winter wheat before winter in relation to uptake of nitrogen. *European Journal of Agronomy*. 2015. Vol. 71. P. 1–9. <https://doi.org/10.1016/J.EJA.2015.07.002>.
- Wong J. Handbook of statistical analysis and data mining applications. Cambridge, Academic Press, 2018. 589 p. <http://doi.org/10.1016/C2012-0-06451-4>.

References

- Hlushchenko, M.K., & Krupko, H.D. (2016). Osoblyvosti zastosuvannya syderatsii ta rol zelenykh dobriv u pidvyshchenni rodiuchosti gruntiv [Peculiarities of green manure application and the role of green fertilisers in increasing soil fertility]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannya [Bulletin of the National University of Water and Environmental Engineering]*, 3 (75), 173–178 [in Ukrainian].
- Honcharuk, I.V., Kovalchuk, S.Ia., Tsytsiura, Ya.H., & Lutkovska, S.M. (2020). Dynamichni protsesy rozvytku orhanichnoho vyrobnytstva v Ukraini [Dynamic processes of organic production development in Ukraine]. Vynnytsia : TOV «TVORY» [in Ukrainian].
- Dehodiuk, S.E., Dehodiuk, E.H., Pronenko, M.M., Ihnatenko, Yu.O., Pypchuk, N.M., & Muliarchuk, A.O. (2020). Efektyvnist zastosuvannya vidnovliuvanykh mistsevykh resursiv za orhanichnoho zemlerobstva: naukovy-metodychni rekomendatsii [Efficiency of the use of renewable local resources in organic farming: scientific and methodological recommendations]. Vynnytsia : TOV «TVORY» [in Ukrainian].
- Ivanyshyn, V.V., Roik, M.V., Shuvar, I.A., Tsentylo, L.V., Sendetskyi, V.M., Bunchak, O.M., & Kolisnyk, N.M. (2016). Biologizatsiia zemlerobstva v Ukraini: realii ta perspektyvy: naukovy-vyrobynye vydannia [Biologisation of agriculture in Ukraine: realities and prospects: a scientific and production publication]. Ivano-Frankivsk : Symfoniia forte [in Ukrainian].
- Pysarenko, V.M., Antonets, A.S., & Lukianenko, H.V. (2016). Systema orhanichnoho zemlerobstva ahroekoloha S.S. Antontsia [Organic farming system by agroecologist S.S. Antonets]. Poltava [in Ukrainian].
- Tsytsiura, Ya.H., Neilyk, M.M., Didur, I.M., & Polishchuk, M.I. (2022). Syderatsiia yak bazova skladova biologizatsii suchasnykh system zemlerobstva. Monohrafiia [Green manure as a basic component of biologisation of modern farming systems. Monograph]. Vynnytsia : Vydavets TOV «Druk» [in Ukrainian].
- Shuvar, I.A. (2015). Syderaty v suchasnomu zemlerobstvi [Green manure in modern farming]. Ivano-Frankivsk : Symfoniia forte [in Ukrainian].
- Bláha, L. (2021). Importance of Root-Shoot Ratio for Crops Production: A Review. *Current Topics in Agricultural Sciences*, 1, 37–49. <https://doi.org/10.9734/bpi/ctas/v1/12112D> [in English].
- Duff, J., van Sprang, C., OHalloran, 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 [in English].

- Green Manure Global Market Report 2024. (2023). By Type (Leguminous, Non Leguminous), By Source (Dhaincha, Sesbania, Sunhemp, Other Sources), By Application (Grains And Cereals, Pulses And Oilseedseeds, Fruits And Vegetables, Other Applications) – Market Size, Trends, And Global Forecast 2024–2033. [Electronic resource]. URL: <https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/green-manure-global-market-report> (access date 22.04.2022) [in English].
- Heuermann, D., Gentsch, N., Boy, J., Schweneker, D., Feuerstein, U., Groß, J., Bauer, B., Guggenberger, G., & von Wirén, N. (2019). Interspecific competition among catch crops modifies vertical root biomass distribution and nitrate scavenging in soils. *Scientific Reports*, 9 (1), e11531. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-48060-0> [in English].
- Kemper, R., Bublitz, T.A., Müller, P., Kautz, T., Döring, T.F., & Athmann, M. (2020). Vertical root distribution of different cover crops determined with the profile wall method. *Agriculture*, 10, e503. <https://doi.org/10.3390/agriculture10110503> [in English].
- Lopez, G., Ahmadi, S.H., Amelung, W., Athmann, M., Ewert, F., Gaiser, T., Gocke, M.I., Kautz, T., Postma, J., Rachmilevitch, S., Schaaf, G., Schnepf, A., Stoschus, A., Watt, M., Yu, P., & Seidel, S.J. (2023). Nutrient deficiency effects on root architecture and root-to-shoot ratio in arable crops. *Frontiers Plant Science*, 13, e1067498. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1067498> [in English].
- Poorter, H., Niklas, K.J., Reich, P.B., Oleksyn, J., Poot, P., & Mommer, L. (2012). Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control. *New Phytologist*, 193, 30–50. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03952.x> [in English].
- 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*, 12, 2076. <https://doi.org/doi:10.3390/agriculture12122076> [in English].
- Ramirez-Garcia, J., Gabriel, J.L., Alonso-Ayuso, M., & Quemada, M. (2015). Quantitative characterization of five cover crop species. *The Journal of Agricultural Science*, 153 (7), 1174–1185. <https://doi.org/10.1017/S0021859614000811> [in English].
- Redin, M., Recous, S., Aita, C., Chaves, B., Pfeifer, I.C., Bastos, L.M., Pilecco, G.E., & Giacomini, S.J. (2018). Root and shoot contribution to carbon and nitrogen inputs in the topsoil layer in no-tillage crop systems under subtropical conditions. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 42, e0170355 [in English].
- Safaei, A.R., Rouzbehan, Y., & Aghaalikhani, M. (2022). Canola as a potential forage. *Translational Animal Science*, 6(3), txac100. <https://doi.org/10.1093/tas/txac100> [in English].
- Test Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability of Fodder Radish (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.). (2017). Geneva.
- Țiței, V. (2022). The quality of fresh and ensiled biomass from white mustard, *Sinapis alba*, and its potential uses. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, 65 (1), 559–566 [in English].
- Tsytsiura, Y.H. (2020). Modular-vitality and ideotypical approach in evaluating the efficiency of construction of oilseed radish agrophytocenosis (*Raphanus sativus* var. *oleifera* Pers.). *Agraarteadus*, 31 (2), 219–243. <https://doi.org/10.15159/jas.20.27> [in English].
- Ugrenović, V., Filipović, V., Jevremović, S., Marjanović, J.A., Popović, V., Buntić, A., & Delić, D. (2019). Effect of Brassicaceae as cover crops. *Selekcija i semenarstvo*, 25(2), 1–8. <https://doi.org/10.5937/SelSem1902001U> [in English].
- Wahlström, E.M., Hansen, E.M., Mandel, A., Garbout, A., Kristensen, H.L., & Munkholm, L.J. (2015). Root development of fodder radish and winter wheat before winter in relation to uptake of nitrogen. *European Journal of Agronomy*, 71, 1–9. <https://doi.org/10.1016/J.EJA.2015.07.002> [in English].
- Wong, J. (2018). Handbook of statistical analysis and data mining applications. Cambridge, Academic Press. <http://doi.org/10.1016/C2012-0-06451-4> [in English].

Отримано: 17.07.2024
Прийнято: 07.08.2024