

УДК 635.15:631.5

Цицюра Я. Г.

кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри землеробства, ґрунтознавства та агрохімії,
Вінницький національний аграрний університет
Вінниця, Україна

E-mail: yaroslavtsyura@ukr.net

ORCID: 0000-0002-9167-833X

ОЦІНКА ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ФОРМУВАННЯ БІОМАСИ РЕДЬКИ ОЛІЙНОЇ З ПОЗИЦІЇ ЇЇ СИДЕРАЛЬНОГО РІЗНОСТРОКОВОГО ВИКОРИСТАННЯ

Анотація

Обґрунтовано доцільність та ефективність сидеральних систем землеробства для виконання завдань національної стратегії щодо ґрунтозбереження та ґрунтореабілітації на основі світового досвіду та загроз і викликів, які сформовано сучасними тенденціями у конструюванні та імплементації інноваційних технологій вирощування основних сільськогосподарських культур. Досліджено особливості формування надземної листостеблової та кореневої біомаси рослин редьки олійної для її застосування як ефективного кандидата у системі основного чи проміжного (післяжнивного, післяукісного) сівозмінного компонента для технологічного проведення сидерації. Оцінку проведено згідно принципів загальної біопродуктивності та адаптивності збереження відповідних рівнів показника з огляду на стресовість гідротермічних умов періоду вегетації культури та застосування спряженого аналізу величини ознаки та кліматичних умов за параметрами гідротермічного коефіцієнту, коефіцієнту аридності та коефіцієнту зволоження у десятирічному циклі досліджень. Проаналізовано коефіцієнт продуктивності кореневої системи рослин редьки олійної за співвідношенням надземної та кореневої біомаси та зроблено висновки щодо можливості вирощування редьки олійної у варіантах стресової літньої проміжної сидерації. Кореляційним аналізом оцінено чутливість показника біопродуктивності рослин та похідних показників, які їй визначають з позиції детермінації та прогнозування з метою оцінки придатності відповідних територій для ефективного використання редьки олійної у якості кандидата для біоорганічних сидеральних технологій без застосування добрив. Сформовано оптимальні умови чинників довкілля з позиції зволоження та добового температурного режиму для отримання сталого рівня урожаю листостеблової маси на рівні 20 т/га відповідно до основних вимог до сільськогосподарських культур сидерального використання.

Ключові слова: сидераційні технології, біопродуктивність, листостеблова маса, коренева біомаса, коефіцієнт продуктивності кореневої системи.

Вступ. Сучасні стратегії конструювання агротехнологій вирощування сільськогосподарських культур орієнтовані на широке використання біоресурсів відповідних сільськогосподарських територій з метою максимального залучення біомаси як основних, так і проміжних культур різного виду та строків використання до біорециклінгу органічної речовини з метою максимальної акумуляції органічного вуглецю, створення умов для відтворення потенціалу ґрунтової родючості та зниження темпів деградації та забезпечення переходу на біоорганічні системи удобрення [1, с. 5–7; 7, с. 5–8; 9, с. 10–12; 14, с. 1–3]. Біоорганічні системи удобрення та так звані біологізовані та органічні технології вирощування передбачають у свою чергу широке залучення додаткових компонентів альтернативного удобрення на основі використання рослинних решток, сидератів, мульчування, органічних добрив різних видів і походження тощо [4, с. 172–173]. Важливим у реалізації цих технологічних рішень є застосування підходів оптимізованого насичення сівозмін проміжними культурами різних класифікуючих груп з метою їх послідувочої імплементації у формі сидератів, фіторемедіаторів та покривних культур, що у результаті підсумку забезпечує як загальне підвищення коефіцієнту продуктивності сівозмінної площі, оптимізує попередники у варіантах повторних т беззмінних посівів особливо у варіантах сівозмін короткої ротації та забезпечує додаткове нагромадження органічної маси у ґрунтовому профілі [2, с. 55–57; 3, с. 173–174]. Однак ефективність такого підходу визначатиметься ефективним підбором відповідних культур багатопільового використання, які здатні відповідати критеріям даних проміжних культур з послідувочим можливим їх використанням у технологіях сидерації, біофумігації, фіторемедіації тобто органічно-орієнтованих технологіях ґрунтозбереження та ґрунтореабілітації [11, с. 9–10; 15, с. 3–5; 19, с. 279–280; 20, с. 5–7]. Не дивлячись на визначений спектр таких видів рослин, який в Україні представлений базовим набором із близько 30 культур [10, с. 1–5; 21, с. 15–20], тенденції у змінах клімату, диверсифікація регіонального аграрного виробництва зумовлена істотною зміною структури посівних площ, прогнозовані наслідки агресії росії, які обумовлюють ріст на мінеральні добрива та енергоресурси, загальне зниження операцій продажу української аграрної продукції на світовому ринку, наслідки жорсткої деградації сільськогосподарських територій від бойових дій – спонукають до більш глибокого аналізу біоорганічних підходів у конструюванні технологічних карт вирощування сільськогосподарських культур [6, с. 106–107; 9, с. 8–14]. Зокрема уточнення потребують питання загальної продуктивності сидеральних культур, їх толерантність до зміну строків сівби, адаптивний потенціал на зміну кліматичних ресурсів територій [5, с. 13–14; 8, с. 18–21; 15, с. 5]. Окреслені чинники актуалізують наші дослідження та визначають їх виробничу направленість.

Мета. Дослідження та оцінка формування біопродуктивного потенціалу редьки олійної (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.) для повнопрофільної її ідентифікації у системі застосування як мультифункціональної покривної культури у варіантах біоорганічних (сидеральних) технологій у рамках виконання тематики з фінансуванням за кошти загального фонду державного бюджету «Розробка екологоорієнтованих технологій вирощування біоенергетичних культур для забезпечення енергонезалежності та ґрунтозбереження задля формування кліматичної нейтральності» (№ держреєстрації 0124U000483).

Виклад основного матеріалу дослідження. У статті представлено результати польового сидерального використання редьки олійної за період 2014–2023 рр. на сірих лісових ґрунтах Вінницького національного аграрного університету (N 49°11'31", E 28°22'16"). Усереднені значення ґрунтових умов родючості поля були наступними: 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_{кел} 5.8. Об'єктом дослідження був сорт редьки олійної Журавка. Параметри передпосівного конструювання агроценозу сорту: неудобрений фон за норми висіву 2,5 млн схожих насінин/га звичайним рядковим способом (міжряддя 15 см). Схема досліду передбачала вивчення двох варіантів за строком сидерального використання редьки олійної. Перший передбачав весняний строк сівби (перша–друга декада квітня) після зяблевої оранки (20–22 см) при досягненні сидерального застосування сформованої біомаси (фаза цвітіння (ВВСН 64–67) на другу–третю декаду червня. Другий варіант проміжного (літнього) використання за сівби у другій–третьій декаді липня після збирання попередника на фоні комбінованої обробки ґрунту (плоскоріз + ротаційне розпушування на глибину 12–14 см) при досягненні сидерального застосування сформованої біомаси (фаза цвітіння (ВВСН 64–67) на другу–третю декаду жовтня.

Схема досліду передбачала систему чотирьох разового повторення методом повної рендомізації за загальної площі ділянки 35 м² та 25 м² облікової). Основні спостереження та обліки було проведено відповідно до стандартизованих рекомендацій проведення досліджень із хрестоцвітими культурами [12, с. 7–30].

Показник сформованої надземної біомаси визначали на фазу цвітіння (ВВСН 64–67) при використанні обліку зважуванням скошеної одновидової маси з пробних ділянок площею 1 м² у кожному повторенні (при N = 16). На цих же ділянках супутньо вівся облік маси сформованої кореневої маси методом монолітів [26, с. 457–458; 32, с. 2–5]. Для повноцінної сепарації дрібних частин коренів рослин було застосовано додаткове промивання ризосферної маси ґрунту на колонці решіт з дратяної сітки ткані (відповідно до технічних умов України ТС 14-4-507-99): 4.0 mm, 2.0 mm, 1.0 mm, 0.5 mm та 0.25 mm).

Показники продуктивності кореневої системи розраховували за відношенням сирі (сухої) надземної біомаси рослин до сирі (сухої) маси відповідно сформованих коренів, а частку корневих решток у загальній біомасі визначали як відношення маси коренів до надземної маси рослини виражене у % [29, с. 30–35]. Вміст сухої речовини визначали стандартним висушуванням зразка сирі маси у сушильній шафі при температурі 105 °C з послідовним озоленням зразка при температурі 550 °C [12, с. 18–21].

Оцінку гідротермічного режиму періоду вегетації варіантів сидерального використання редьки олійної було проаналізовано за такими показниками як: гідротермічний коефіцієнт (ГТК, формула 1), індекс посушливості (I_п, формула 2), коефіцієнт зволоження (K_з, формула 3).

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

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

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

де P_{оп} та T_{сеп.} – кількість опадів та середня температура повітря за відповідний місяць вегетації.

$$K_{\text{з}} = \frac{P}{E}, \quad (3)$$

де: P – сума опадів за аналізований період, мм; E – випаровуваність за аналізований період (формула 4), мм.

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

де: E – випаровуваність рослин для певного періоду, мм; t – середня температура повітря, °C, a – середня вологість повітря, %.

Узагальнююча оцінка вказаних показників за період різних варіантів сидерального використання редьки олійної представлена на рисунку 1.

Враховуючи оптимальні параметри для ростових процесів рослин редьки олійної, відповідно до наших попередніх багаторічних оцінок [31, с. 219–221], роки досліджень було розміщено у наступному порядку зростання сприятливості ростових процесів для умов весняного строку сівби: 2017–2015–2016–2018–2021–2022–2023–2014–2020–2019. Для умов літнього строку сівби аналогічний ряд був наступним: 2021–2019–2015–2016–2023–2014–2020–2018–2017–2022.

Показники варіаційної статистики визначали за загальноприйнятою методикою розрахунку в статистичних програмах Statistica 10 (StatSoft – Dell Software Company, США). Для статистичної оцінки отриманих середніх величин застосовано 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 [33, с. 69–85].

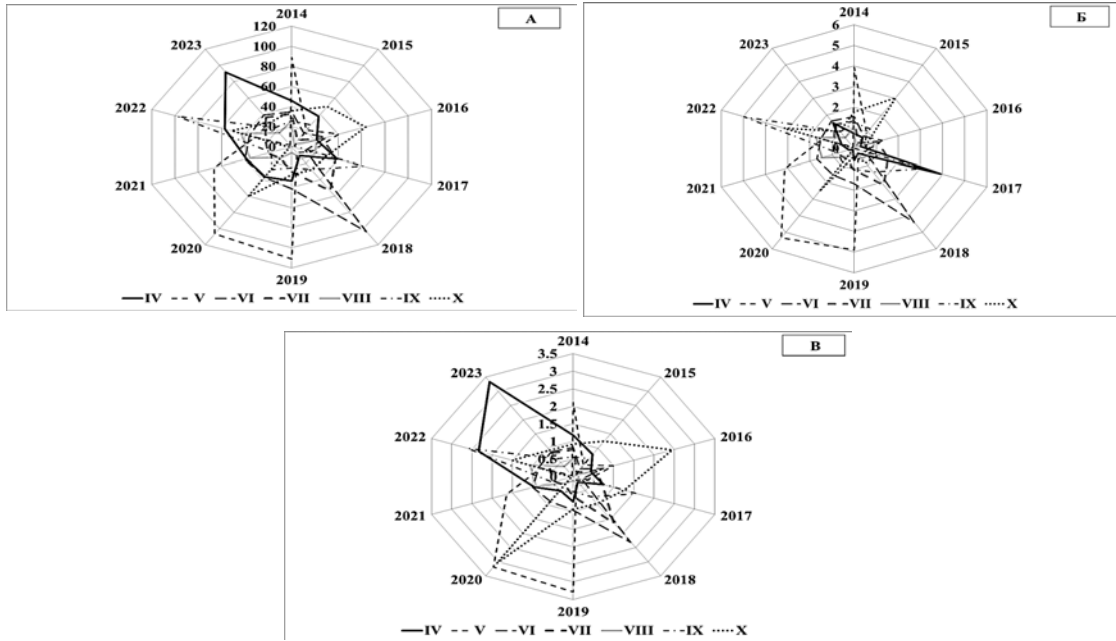


Рис. 1. Основні гідротермічні параметри періоду вегетації редьки олійної сорту Журавка (для весняного строку сівби IV–V місяці, для літнього – VII–X місяці) (Позиція А – індекс посушливості (I_d); позиція Б – ГТК; позиція В – коефіцієнт зволоження (K_z)), 2014–2023 рр.

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

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

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

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

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

$$G' = \left(\sum_{|r_{ij}| \geq \alpha} |r_{ij}| \right) / n \quad (7)$$

де r_{ij} – коефіцієнт кореляції між і-м та j-м показником. У розрахунках використовувалися лише достовірні коефіцієнти кореляції; n – кількість статистично значущих коефіцієнтів кореляції.

За результатами проведених обліків встановлено, що редьку олійну можна віднести до високопродуктивних культур, яка на неудобреному фоні сформувала за десятирічний період оцінки листостеблову надземну масу на рівні 24,04 т/га у сирій масі та 3,1 т/га у сухій речовині за весняного та 18,34 т/га (2,82 т/га) за літнього строку сівби. Слід зауважити, що висока варіативність цього показника як для весняного (показник стандартного відхилення 7,09 коефіцієнт варіації (C_v) 29,5%), так і для літнього (показник стандартного відхилення 5,80 коефіцієнт варіації 31,6%) строку сівби доводять вагомую роль гідротермічних умов вегетації у реалізації біопродуктивного потенціалу даної культури (рис. 2).

Це узгоджується із істотними відмінностями між значенням сформованої надземної біомаси у варіантах весняного та літнього строків сівби. Подібні особливості відмічено й у формуванні біомаси коренів (рис. 3) з істотно вищим показником за весняних строків сівби, зокрема середньобагаторічна біопродуктивність за весняного строку сівби 8,7 т/га у сирій та 1,82 т/га у сухій речовині, а за літнього – 5,5 т/га та 1,24 т/га відповідно. При цьому мінливість середньобагаторічних значень у міжрічному виразі була ще вищою порівняно із показниками сформованої надземної біомаси і складала для весняного строку сівби за стандартного відхилення у значенні 3,76 т/га при коефіцієнті варіації 43,18%, а для літнього строку – 2,11 т/га та 38,34% відповідно.

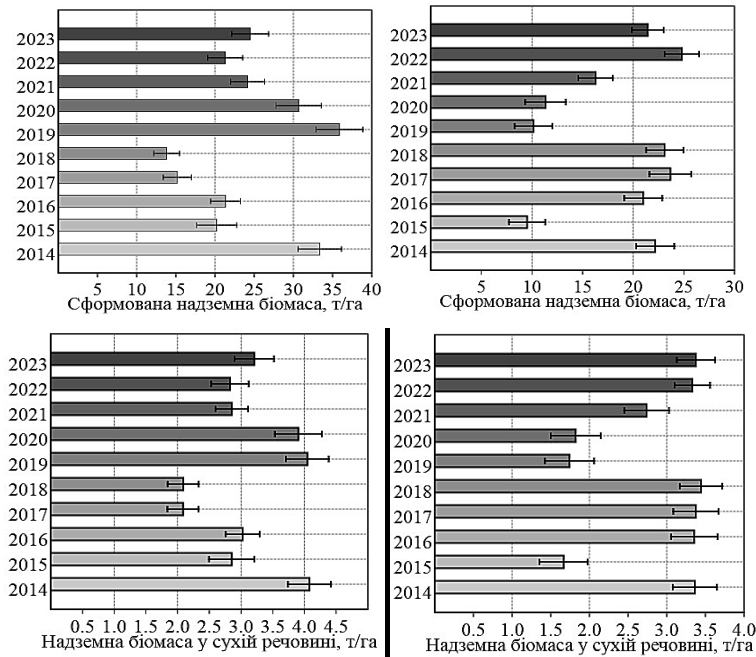


Рис. 2. Показники сформованої надземної біомаси рослин редьки олійної, 2014–2023 рр. (верхній ряд графіків сира біомаса, нижній – у сухій речовині (для всіх позиція зліва весняний строк, справа – літній строк сівби)

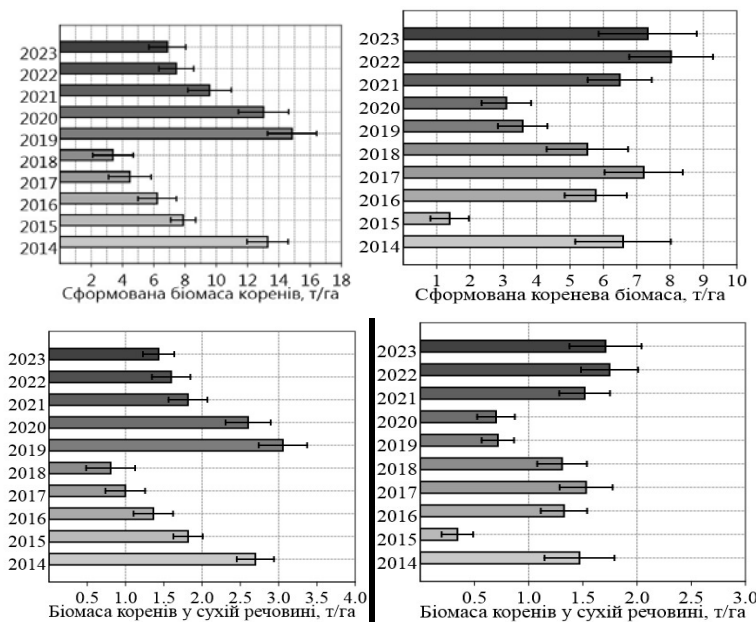


Рис. 3. Показники сформованої кореневої біомаси рослин редьки олійної, 2014–2023 рр. (верхній ряд графіків сира біомаса, нижній – у сухій речовині (для всіх позиція зліва весняний строк, справа – літній строк сівби)

Отримані показники для редьки олійної, з огляду на дослідження інших авторів, які вивчали продуктивність різних видів сидеральних культур (буркуну білого, гірчиці білої, гречки, вики ярої, люпину білого, гороху, ряду злакових культур) [2, с. 55–60; 5, 13–15; 8, с. 68–96; 13, с. 123–125; 17, с. 197–211] з огляду на варіативність ГТК періоду досліджень (коефіцієнт варіації на рівні 19,0%), коефіцієнту посушливості (I_p) ($C_v = 27,40\%$) та коефіцієнту зволоження (I_v) ($C_v = 22,55\%$) дозволяє віднести редьку олійну до перспективних культур для забезпечення технологій різнопланової сидерації як основного (весняного), так і проміжного (літнього) строків сівби.

Заслуговує на особливу увагу коефіцієнт продуктивності кореневої системи редьки олійної за співвідношенням сформованої надземної та підземної (кореневої) біомаси. У середньому за період досліджень для весняного строку сівби редьки олійної цей показник становив (з розрахунку на 16 облікових ділянок у кожний рік спостережень) 3,34 (при $C_v = 22,5–34,54\%$) для літнього – 3,36 (при $C_v = 20,8–36,88\%$). У сухій речовині ці показники

становили 2,08 (31,9–40,70%) та 2,27 (29,9–37,98%). При цьому міжрічне варіювання у межах співставлення середніх значень становило загальну варіативність 22,8% для сирової біомаси та 33,5% для біомаси у сухій речовині. З огляду на дослідження [8, с. 78–84; 25, с. 37–40; 30, с. 165–167], отримані дані 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. Слід зауважити, що високий рівень варіації у загальному масиві отриманих даних показника продуктивності кореневої системи (рис. 4) підтверджує дані щодо складної ідіотипічної структури сидерального агроценозу редьки олійної [16, с. 58–65] та формування відповідної ярусності як у структурі надземної, так і кореневої біомаси. При цьому значення коефіцієнту продуктивності кореневої системи редьки олійної за вказаним середньорічним значенням в інтервалі 2,37–4,10 для весняного та 2,82–6,83 для літнього строку використання із зростанням показника у роки із вираженими стресовими гідротермічними режимами (рис. 4) – ще раз доводять адаптивність редьки олійної та можливість її використання як покривної та сидеральної культури за умов літньої проміжної сидерації (післяжнивний та післяукісний варіанти застосування).

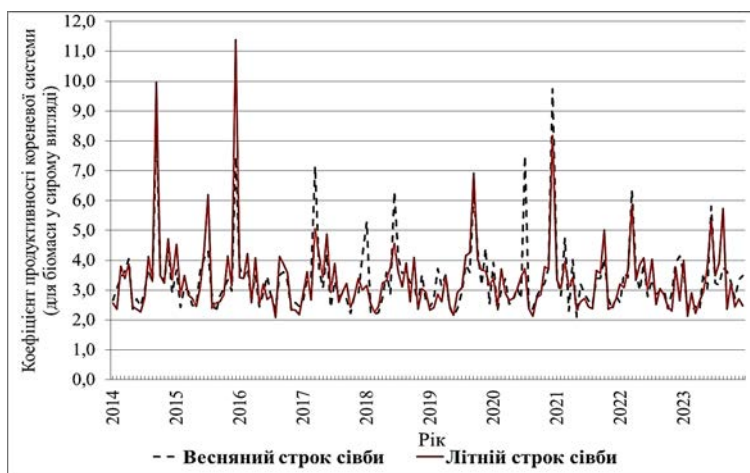


Рис. 4. Коефіцієнт продуктивності кореневої системи редьки олійної за різних строків сівби, 2014–2023 рр. (для кожного року дані по 16 облікових майданчиків окремо для весняного та літнього строку сівби (N=320))

Це ж підтверджується даними досліджень [8, с. 82–83], де коефіцієнт продуктивності кореневих систем таких культур як гірчиця біла становив 3,7–4,1, буркун білий – 2,7–2,9, вики ярої – 1,9–2,1, гречки – 3,2–3,7 а редьки олійної – 2,9–3,4. Підвищення показника продуктивності кореневої системи редьки олійної за аридизації умов періоду її вегетації вказує на ростову адаптацію цього виду з можливістю прискореного формування надземної біомаси за певного фізіологічного «відставання» у формуванні кореневої системи, що до речі було підтверджено як загальний адаптивний механізм диких хрестоцвітих видів рослин [28, с. 1–4]. Слід також відмітити, що зміна величини коефіцієнта із розрядності 3–4 для сирової речовини до розрядності 2.0–2,5 у виразі сухої речовини пов'язана із вищим значенням вмісту сухих речовин у кореневій біомасі. Для весняного року співвідношення вмісту сухої речовини у кореневій біомасі та надземній біомасі склало у середньому за період вивчення коефіцієнт 1,63 для літнього строку сівби вказане співвідношення становило 1,44.

Кореляційним аналізом підтверджено вище зроблені висновки щодо ролі гідротермічних умов у можливому рівні досягнення загальної біопродуктивності рослин редьки олійної (табл. 1).

За величиною кореляційного графа першого типу (Граф G) формування як надземної, так і підземної (кореневої) біомаси рослин редьки олійної мало найвищу сумарну залежність модульних числових значень коефіцієнтів кореляції з позиції вагових характеристик рослини (інтервал 7.30–7.61). Серед гідротермічних чинників періоду вегетації вказаний показник був максимальним для гідрометеорологічних коефіцієнтів таких як ГТК, I_p , K_3 (у середньому >7.70). Серед параметральних факторів сума опадів відіграла у системі формування загальної біопродуктивності рослин більш істотне значення ніж рівень середньодобової температури (коефіцієнт співвідношення 1.52) та відносна вологість повітря (коефіцієнт співвідношення 2.18). При цьому за напрямом залежності встановлено, що рівень загальної біомаси рослин редьки олійної з високим рівнем прогнозованої ймовірності зростатиме за збільшення кількості опадів ($d_{yx} = 92,2\%$) та високих значень гідротермічних коефіцієнтів і співвідношень ($d_{yx} = 81,0–88,4\%$).

Якщо співставити отримані залежності із модельними параметрами, які закладались у прогностичні моделі формування біомаси для таких видів як ріпак ярий та озимий, гірчиця біла у варіантах їх різноцільового використання [24, с. 23–27; 27, с. 147–150], то слід зауважити, що редька олійна має певні переваги щодо показників кліматичної адаптації. Зокрема, вже відмічена здатність до інтенсивних ростових процесів за зниженого

Таблиця 1. Коефіцієнти кореляції Пірсона залежності показників біопродуктивності редьки олійної від гідротермічних параметрів вегетаційного періоду (для спільної системи зіставлення строків сівби–повторень–років (N=160))

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-0,40	0,49	0,91	0,96	0,91	0,95	0,95	0,96	-0,51	0,52
2		-0,02	-0,71	-0,62	-0,71	-0,44	-0,53	-0,48	0,51	-0,54
3			0,29	0,37	0,29	0,52	0,36	0,49	-0,35	0,28
4				0,99	1,00	0,87	0,93	0,90	-0,57	0,61
5					0,99	0,91	0,96	0,94	-0,56	0,60
6						0,87	0,93	0,90	-0,57	0,61
7							0,94	0,99	-0,41	0,40
8								0,97	-0,63	0,66
9									-0,49	0,49
10										-0,96
**7,56	4,96	3,46	7,78	7,90	7,78	7,30	7,86	7,61	5,56	5,67
***0,69	0,45	0,31	0,71	0,72	0,71	0,66	0,71	0,69	0,51	0,52

Примітки: $r = |0,0|–|0,4|$ Відсутній або слабкий зв'язок; $r = |0,4|–|0,7|$ Помірний зв'язок; $r = |0,7|–|1,0|$ Сильний зв'язок. 1=Опади (мм); 2=Середньодобова температура (°C); 3=Вологість повітря (%); 4=ГТК; 5= $I_{\text{н}}$; 6=K; 7=Вихід листкостеблової (надземної) біомаси (т/га); 8=Вихід кореневої біомаси (т/га); 9=Загальна біомаса рослин (т/га); 10=Коефіцієнт продуктивності кореневої системи (у сухій речовині); 11=Частка кореневих залишків у загальній сухій біомасі рослин (%); ** Граф Г; *** Граф G'. Рівень значущості для $p < 0,05$, інтервал $r = 0,15–0,19$, для $p < 0,01$ $r = 0,20–0,25$, для $p < 0,001$ $r > 0,25$.

температурного режиму періоду вегетації. Це особливо характерно за ранньовесняних строків сівби редьки олійної. Так, у середньому за 10 річний період досліджень середньодобова температура повітря була на рівні 14,5 °C за період квітня–червня. Такий рівень температур для гірчиці білої і ріпаку ярого вже сприятиме зниженню темпів ростових процесів та величини сформованої генеративної частини рослин [22, с. 15–20]. Разом із тим, враховуючи вищі рівні залежності для релятивних величин (відношень, коефіцієнтів) у співставленні до базових кліматичних параметрів на підставі узагальнень [23, с. 3–7] слід очікувати більш складної ієрархії залежностей між біопродуктивністю рослин редьки олійної і кліматичними параметрами періоду її вегетації. Тобто редька олійна володіє досить гнучким адаптивним механізмом, що виділяє її серед інших хрестоцвітних видів з позиції можливості використання у системі полікритерійних покривних культур проміжного сидерального використання.

Висновки. На підставі оцінки особливостей формування загальної біомаси рослин редьки олійної на фоні змінних гідротермічних умов періоду її вегетації, встановлений високий її продуктивний потенціал, який дозволяє навіть у виражені стресові за гідротермічними умовами роки сформувати не менше 2,5 т/га сухої речовини, а в оптимальні роки забезпечити до 7,0 т/га. Кореляційним варіантом аналізу на основі розмірності отриманих коефіцієнтів кореляції встановлено, що основним обмежуючим чинником рівнів формування її біомаси є вологозабезпечення періоду вегетації. При цьому значення середньодобової температури має широкий діапазон відносної оптимальності в інтервалі від 14 до 22 °C. Виходячи з цього, найбільш доцільним варіантом використання редьки олійної в системі проміжного та сидерального використання є варіант ранньовесняної сівби, а також варіант літнього проміжного використання зі зміщенням строків сівби на кінець липня–початок серпня для зон нестійкого зволоження.

Список використаних джерел

1. Бутрим О.В. Теоретико-методологічні основи формування внутрішнього вуглецевого ринку в контексті збалансованого розвитку агросфери: монографія / за ред. О.І. Дребот. К.: ТОВ «ДІА», 2018. 386 с.
2. Гадзало Я.М., Вожегова Р.А., Малярчук М.П., Гальченко Н.М., Резніченко Н.Д. Еколого-економічна ефективність сидерації у сівозміні на зрошуваних землях Півдня України. *Агроекологічний журнал*. 2020. № 2. С. 55–62.
3. Глущенко М.К., Крупко Г.Д. Особливості застосування сидерації та роль зелених добрив у підвищенні родючості ґрунтів. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. 2016. № 3(75). С. 173–178.
4. 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.
5. Господаренко Г.М., Лисянський О.Л. Вплив видів і доз мінеральних добрив на врожай сидеральних культур у Правобережному Лісостепу. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2014. Вип. 86. Ч. 1: Агрономія. С. 13–17.
6. Добряк Д.С., Кузін Н.В. Удосконалення класифікації процесів, що спричиняють деградацію земельних угідь. *Збалансоване природокористування*. 2016. № 1. С. 106–111.
7. Зміна клімату: наслідки та заходи адаптації: аналіт. доповідь / С.П. Іванюта, О.О. Коломієць, О.А. Малиновська, Л.М. Якушенко; за ред. С. П. Іванюти. К.: НІСД, 2020. 110 с.
8. Лисянський О.Л. Ефективність удобрення сидеральних культур на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу України: дис. ... канд. с.-г. наук : 06.01.04 / Лисянський Олександр Леонідович; Нац. акад. аграр. наук України, Нац. наук. центр «Ін-т ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського». Харків, 2018. 246 с.
9. Методичні рекомендації для здійснення оцінки ризиків та вразливості соціально-економічних секторів та природних складових до зміни клімату. 2024. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/06/386nd1.pdf> (дата звернення: 10.05.2024).

10. Писаренко В.В., Писаренко П.В., Писаренко В.М. Еколого-економічна ефективність використання сидератів. *Економіка*. 2012. URL: <https://www.pdaa.edu.ua/sites/default/files/visnyk/2012/03/122.pdf> (дата звернення: 10.05.2024).
11. Польовий В.М. Оптимізація систем удобрення в сучасному землеробстві: монографія. Рівне: Волинські обереги, 2007. 320 с.
12. Сайко В.Ф. Особливості проведення досліджень з хрестоцвітими олійними культурами. К.: «Інститут землеробства НААН», 2011. 76 с.
13. Сендецький В. М. Продуктивність сої залежно від сумісного застосування соломи, сидератів та органічних добрив в умовах Лісостепу Західного. *Міжзвідомчий тематичний науковий збірник «Зрошуване землеробство»*. 2019. № 71. С. 123–127.
14. Стратегія низьковуглецевого розвитку України до 2050 року, підготовлена за технічної підтримки проекту Агентства США з міжнародного розвитку «Муніципальна енергетична реформа в Україні». (проект). 2022. URL: <https://menr.gov.ua/news/31815.html> (дата звернення: 10.05.2024).
15. 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.
16. Цицюра Я.Г. Оцінка ефективності конструювання агрофітоценозів та удобрення редьки олійної на основі модульно-віталітетного методу. *Сільське господарство та лісівництво*. 2019. № 3(14). С. 57–78.
17. Цицюра Я.Г., Цицюра Т.В. Редька олійна. Стратегія використання та вирощування: монографія. Вінниця: ТОВ «Нілан ЛТД», 2015. 624 с.
18. Харитоненко Р.А., Бутенко Є.В. Оцінка впливу деградаційних процесів на продуктивний потенціал сільськогосподарських земель: монографія. К.: НУБіП України, 2019. 204 с.
19. Хромушина Л.А. Екологізація сільського господарства як основа еколого-економічної безпеки. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Сер. Фінанси та кредит*. 2008. № 1. С. 278–283.
20. Шкуратов О.І., Дребот О.І., Бутрим О.В. Концепція розвитку органічного землеробства в Україні до 2020 року. Київ, 2014. 16 с.
21. Шувар І.А. Сидерати в сучасному землеробстві. Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2015. 156 с.
22. Ahmad P. Oilseed Crops. Yield and Adaptations under Environmental Stress. John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, PO19 8SQ, UK, 2017. 310 p.
23. Akbarzadeh A., Katsikas S. Identifying and Analyzing Dependencies in and among Complex Cyber Physical Systems. *Sensors*. 2021. Vol. 21. № 5. 1685 p.
24. Asgari A., Darzi-Naftchali A., Nadi M., Saberali S.F. Improvement in canola yield and growth indices and water-use efficiency with subsurface drainage in a humid climate. *Paddy Water Environment*. 2021. Vol. 19. № 1. P. 23–33.
25. Bláha L. Importance of Root-Shoot Ratio for Crops Production: A Review. *Current Topics in Agricultural Sciences*. 2021. Vol. 1. P. 37–49.
26. Bodner G., Himmelbauer M., Loiskandl W., Kaul H.-P. Improved evaluation of cover crop species by growth and root factors. *Agronomy for Sustainable Development*. 2010. Vol. 30. P. 455–464.
27. Dorsainvil F., Durr C.C., Justes E.E., Carrera A. Characterisation and modelling of white mustard (*Sinapis alba* L.) emergence under several sowing conditions. *European Journal of Agronomy*. 2005. Vol. 23. № 2. P. 146–158.
28. Kashyap A., Kumari S., Garg P., Kushwaha R., Tripathi S., Sharma J., Gupta N.C., Kumar R.R., Yadav R., Vishwakarma H. Indexing Resilience to Heat and Drought Stress in the Wild Relatives of Rapeseed-Mustard. *Life*. 2023. Vol. 13. № 3. 738.
29. 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.
30. Thornley J.H.M. Modelling shoot: root relations: the only way forward? *Annals of Botany*. 1998. Vol. 81. P. 165–171.
31. Tsytsiura Y.H. Modular-vitality and ideotypical approach in evaluating the efficiency of construction of oilseedseed radish agrophytocenoses (*Raphanus sativus* var. *oleifera* Pers.). *Agraarteadus*. 2020. Vol. 31. № 2. P. 219–243.
32. 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.
33. Wong J. Handbook of statistical analysis and data mining applications. Cambridge, Academic Press, 2018. 589 p.

Tsytsiura Ya. G.

Candidate of Agricultural Sciences,

Associate Professor at the Department of Agriculture, Soil Science and Agrochemistry,

Vinnitsia National Agrarian University

Vinnitsia, Ukraine

E-mail: yaroslavtsytsiura@ukr.net

ORCID: 0000-0002-9167-833X

ESTIMATION OF REGULARITIES OF OIL RADISH BIOMASS FORMATION FROM THE POINT OF VIEW OF ITS GREEN MANURE DIFFERENT TERM USE

Abstract

The expediency and effectiveness of green manure farming systems for fulfilling the tasks of the national strategy for soil conservation and soil rehabilitation on the basis of world experience and threats and challenges formed by modern trends in the design and implementation of innovative technologies for growing major crops are substantiated. The peculiarities of formation of above-ground leaf and root biomass of oil radish plants for its use as an effective candidate in the system of the main (field-occupying) or intermediate (post-harvest, post-mowing) crop rotation component for technological green manure were investigated. The evaluation

was carried out according to the principles of overall bioproductivity and adaptability of maintaining the appropriate levels of the indicator, taking into account the stressful hydrothermal conditions of the crop growing season and the use of conjugate analysis of the trait value and climatic conditions by the parameters of hydrothermal coefficient, aridity coefficient and moisture coefficient in a ten-year research cycle. The coefficient of productivity of the root system of oil radish plants in terms of the ratio of aboveground and root biomass was analysed and conclusions were drawn about the possibility of growing oil radish in variants of stressful summer intermediate green manure. The sensitivity of the plant bioproductivity index and its derivative indicators, which are determined from the point of view of determination and forecasting, was assessed by correlation analysis in order to evaluate the suitability of the respective territories for the effective use of oil radish as a candidate for bioorganic green manure technologies without fertilisation. The optimal conditions of environmental factors in terms of moisture and daily temperature regime were formed to obtain a stable level of leaf mass yield at the level of 20 t/ha in accordance with the basic requirements for green manure crops.

Key words: green manure technologies, bioproductivity, leaf and stem mass, root biomass, root system productivity coefficient.

References

1. Butrym, O.V. (2018). Teoretyko-metodolohichni osnovy formuvannia vnutrishnoho vuhletsevoho rynku v konteksti zbalansovanoho rozvytku ahrosfery: monohrafiia [Theoretical and methodological foundations for the formation of the internal carbon market in the context of balanced development of the agro-sphere: a monograph]. (Drebot, O.I., Ed.). K.: TOV «DIA», 386 p. [in Ukrainian].
2. Hadzalo, Ya.M., Vozhehova, R.A., Maliarchuk, M.P., Halchenko, N.M., & Reznichenko, N.D. (2020). Ekoloho-ekonomichna efektyvnist syderatsii u sivozmini na zroshuvanykh zemliakh Pivdnia Ukrainy [Ecological and economic efficiency of green manure in crop rotation on irrigated lands of the South of Ukraine]. *Ahroekolohichniy zhurnal – Agroecological journal*, 2, 55–62 [in Ukrainian].
3. Hlushchenko, M.K., & Krupko, H.D. (2016). Osoblyvosti zastosuvannia syderatsii ta rol zelenykh dobrov 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 pryrodokorystuvannia – Bulletin of the National University of Water and Environmental Engineering*, 3(75), 173–178 [in Ukrainian].
4. 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]. Vinnytsia: TOV «TVORY», 478 p. [in Ukrainian].
5. Hospodarenko, H.M., & Lysianskyi, O.L. (2014). Vplyv vydiv i doz mineralnykh dobrov na vrozhai syderalnykh kultur u Pravoberezhnomu Lisostepu [Influence of types and doses of mineral fertilisers on the yield of green manure crops in the Right-Bank Forest-Steppe]. *Zbirnyk naukovykh prats Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva – Collection of scientific works of Uman National University of Horticulture*. Vyp. 86. Ch. 1: Ahronomiia. pp. 13–17 [in Ukrainian].
6. Dobriak, D.S., & Kuzin, N.V. (2016). Udoskonalennia klasyfikatsii protsesiv, shcho sprychyniaut dehradatsiiu zemelnykh uhid [Improving the classification of processes that cause land degradation]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia – Sustainable use of natural resources*, 1, 106–111 [in Ukrainian].
7. Zmina klimatu: naslidky ta zakhody adaptatsii: analit. Dopovid [Climate change: impacts and adaptation measures: analytical report] (2020). / [S.P. Ivaniuta, O.O. Kolomiets, O.A. Malynovska, L.M. Yakushenko]. (Ivaniuta, S.P., Ed.). K.: NISD, 110 p. [in Ukrainian].
8. Lysianskyi, O.L. (2018). Efektyvnist udobrennia syderalnykh kultur na chornozemi opidzolenomu Pravoberezhnoho Lisostepu Ukrainy [Efficiency of fertilisation of green manure crops on podzolised chernozem of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine]. *Candidate's thesis*. Nats. akad. ahrar. nauk Ukrainy, Nats. nauk. tsentr «In-t hruntoznavstva ta ahrokhimii im. O. N. Sokolovskoho». Kharkiv, 246 p. [in Ukrainian].
9. Metodychni rekomendatsii dlia zdiisnennia otsinky ryzykiv ta vrazlyvosti sotsialno-ekonomichnykh sektoriv ta pryrodnykh skladovykh do zminy klimatu [Methodological recommendations for assessing the risks and vulnerability of socio-economic sectors and natural components to climate change]. (2024). Retrieved from: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/06/386nd1.pdf> [in Ukrainian].
10. Pysarenko, V.V., Pysarenko, P.V., & Pysarenko, V.M. (2012). Ekoloho-ekonomichna efektyvnist vykorystannia syderativ [Ecological and economic efficiency of green manure use]. *Ekonomika – Economics*. Retrieved from: <https://www.pdaa.edu.ua/sites/default/files/visnyk/2012/03/122.pdf> [in Ukrainian].
11. Polovyi, V.M. (2007). Optyimizatsiia system udobrennia v suchasnomu zemlerobstvi: monohrafiia [Optimising fertiliser systems in modern farming]. Rivne: Volynski oberehy, 320 p. [in Ukrainian].
12. Saiko, V.F. (2011). Osoblyvosti provedennia doslidzhen z khrestotsvitymy oliinymy kulturamy [Features of research with cruciferous oilseeds]. K.: «Instytut zemlerobstva NAAN», 76 p. [in Ukrainian].
13. Sendetskyi, V.M. (2019). Produktivnist soi zalezno vid sumisnoho zastosuvannia solomy, syderativ ta orhanichnykh dobrov v umovakh Lisostepu Zakhidnoho [Soybean productivity depending on the combined use of straw, green manure and organic fertilisers in the Western Forest-Steppe]. *Mizhvidomchyi tematychnyi naukovyi zbirnyk «Zroshuvane zemlerobstvo» – Interagency thematic scientific collection 'Irrigated Agriculture'*, 71, 123–127 [in Ukrainian].
14. Stratehiia nyzkovuhletsevoho rozvytku Ukrainy do 2050 roku, pidhotovlena za tekhnichnoi pidtrymky proektu Ahentstva SSHA z mizhnarodnoho rozvytku «Munitsypalna enerhetychna reforma v Ukraini» [The Low Carbon Development Strategy of Ukraine until 2050, prepared with the technical support of the U.S. Agency for International Development's Municipal Energy Reform in Ukraine project]. (proekt) (2022). Retrieved from: <https://menr.gov.ua/news/31815.html> [in Ukrainian].
15. Tsytsiura, Ya.H., Neilyk, M.M., Didur, I.M., & Polishchuk, M.I. (2022). Syderatsiia yak bazova skladova biolohizatsiia suchasnykh system zemlerobstva [Green manure as a basic component of biologisation of modern farming systems]. Monohrafiia. Vinnytsia: Vydavets TOV «Druk», 770 p. [in Ukrainian].
16. Tsytsiura, Ya.H. (2019). Otsinka efektyvnosti konstruiuvannia ahrofitotsenoziv ta udobrennia redky oliinoi na osnovi modulno-vitalitetnoho metodu [Evaluation of the efficiency of agrophytocenosis design and fertilisation of oil radish based on the modular-vitalite method]. *Silke hospodarstvo ta lisivnytstvo – Agriculture and forestry*, 3(14), 57–78 [in Ukrainian].
17. Tsytsiura, Ya.H., & Tsytsiura, T.V. (2015). Redka oliina. Stratehiia vykorystannia ta vyroshchuvannia: monohrafiia [Oilseed radish. Strategy of use and cultivation: a monograph]. Vinnytsia: TOV «Nilan LTD», 624 p. [in Ukrainian].

18. Kharytonenko, R.A., & Butenko, Ye.V. (2019). Otsinka vplyvu dehradatsiinykh protsesiv na produktyvnyi potentsial silskohospodarskykh zemel: monohrafiia [Assessment of the impact of degradation processes on the productive potential of agricultural land: a monograph]. K.: NUBiP Ukrainy, 204 p. [in Ukrainian].
19. Khromushyna, L.A. (2008). Ekolohizatsiia silskoho hospodarstva yak osnova ekoloho-ekonomichnoi bezpeky [Ecologisation of agriculture as a basis for ecological and economic security]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Ser. Finansy ta kredyt – Bulletin of Sumy National Agrarian University. Series: Finance and Credit*, 1, 278–283 [in Ukrainian].
20. Shkuratov, O.I., Drebot, O.I., & Butrym, O.V. (2014). Kontseptsiiia rozvytku orhanichnoho zemlerobstva v Ukraini do 2020 roku [Concept for the development of organic farming in Ukraine until 2020]. Kyiv, 16 p. [in Ukrainian].
21. Shuvar, I.A. (2015). Syderaty v suchasnomu zemlerobstvi [Green manure in modern farming]. Ivano-Frankivsk: Symfoniia forte, 156 p. [in Ukrainian].
22. Ahmad, P. (2017). Oilseed Crops. Yield and Adaptations under Environmental Stress. John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, PO19 8SQ, UK, 310 p. [in English].
23. Akbarzadeh, A., & Katsikas, S. (2021). Identifying and Analyzing Dependencies in and among Complex Cyber Physical Systems. *Sensors*. Vol. 21. № 5. 1685 [in English].
24. Asgari, A., Darzi-Naftchali, A., Nadi, M., & Saberali, S.F. (2021). Improvement in canola yield and growth indices and water-use efficiency with subsurface drainage in a humid climate. *Paddy Water Environment*. Vol. 19. № 1. pp. 23–33 [in English].
25. Bláha, L. (2021). Importance of Root-Shoot Ratio for Crops Production: A Review. *Current Topics in Agricultural Sciences*, 1, 37–49 [in English].
26. Bodner, G., Himmelbauer, M., Loiskandl, W., & Kaul, H.-P. (2010). Improved evaluation of cover crop species by growth and root factors. *Agronomy for Sustainable Development*, 30, 455–464 [in English].
27. Dorsainvil, F., Durr, C.C., Justes, E.E., & Carrera, A. (2005). Characterisation and modelling of white mustard (*Sinapis alba* L.) emergence under several sowing conditions. *European Journal of Agronomy*. Vol. 23. № 2. pp. 146–158 [in English].
28. Kashyap, A., Kumari, S., Garg, P., Kushwaha, R., Tripathi, S., Sharma, J., Gupta, N.C., Kumar, R.R., Yadav, R., & Vishwakarma, H. (2023). Indexing Resilience to Heat and Drought Stress in the Wild Relatives of Rapeseed-Mustard. *Life*. Vol. 13. № 3. 738 [in English].
29. 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 [in English].
30. Thornley, J.H.M. (1998). Modelling shoot: root relations: the only way forward? *Annals of Botany*, 81, 165–171 [in English].
31. 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. pp. 219–243 [in English].
32. 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*. Vol. 71. pp. 1–9 [in English].
33. Wong, J. (2018). Handbook of statistical analysis and data mining applications. Cambridge, Academic Press, 589 p. [in English].