

УДК 635.15:631.5

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.149.2.20>

РОЛЬ ГІДРОТЕРМІЧНИХ УМОВ У ФОРМУВАННІ ЛІНІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ НАСІННЯ СОРТІВ РЕДЬКИ ОЛІЙНОЇ

Цицюра Я.Г. – к.с.-г.н.,

доцент кафедри землеробства, ґрунтознавства та агрохімії,

Вінницький національний аграрний університет

orcid.org/0000-0002-9167-833X

У статті відмічено особливості формування морфометричних параметрів насіння з позиції сталості та мінливості у хрестоцвітних видів рослин та роль цього показника у забезпеченні рентабельного та доцільного насінництва культур. Наведено результати впливу на морфометрію насіння змінних гідротермічних режимів у період його формування та визначено частину невирішеної наукової проблеми для актуалізації цілей публікації у співставленні до загальної проблематики промислового насінництва поширених хрестоцвітних культур.

Наведено результати дослідження впливу гідротермічних умов на формування морфометричних параметрів насіння редьки олійної та їх варіабельність залежно від сорту і років вирощування. Встановлено, що за рівнем сприятливості погодних умов у період формування та наливу насіння роки досліджень ранжувались у такому порядку: 2018–2015–2017–2016–2013–2020–2021–2022–2024–2019–2023–2014.

Середні значення довжини насіння варіювали в межах 3,278–4,058 мм, ширини – 2,487–3,209 мм, товщини – 1,856–2,629 мм. Найвищі морфометричні показники встановлено у сорту Сабіна (довжина – 4,058 мм, ширина – 3,209 мм, товщина – 2,629 мм). Коефіцієнт варіації для довжини становив 16,5–18,9%, ширини – 15,3–17,3%, товщини – 17,1–20,7%, що свідчить про середній і підвищений рівень мінливості ознак.

Виявлено тісні позитивні кореляційні зв'язки між лінійними параметрами насіння: між довжиною і шириною ($r = 0,90$), довжиною і товщиною ($r = 0,87$), шириною і товщиною ($r = 0,87$). Встановлено регресійні залежності: $W = 0,802 \cdot L - 0,039$; $T = 0,732 \cdot L - 0,386$; $T = 0,827 \cdot W - 0,113$.

Доведено, що гідротермічні умови істотно впливають на формування насіння, причому найбільший рівень детермінації встановлено для кількості опадів: для довжини – 52,85%, ширини – 43,30%, товщини – 59,91%. Показано, що ширина насіння є найменш чутливою ознакою до змін умов середовища, тоді як товщина характеризується найбільшою варіабельністю. Отримані результати підтверджують високу залежність морфологічного розвитку насіння редьки олійної від гідротермічних факторів та можуть бути використані у селекції та вдосконаленні технологій вирощування культури.

Ключові слова: морфометричні параметри насіння, довжина, ширина, товщина, варіабельність насіння, кореляція, гідротермічні умови.

Tsytsiura Ya.G. The role of hydrothermal conditions in the formation of linear parameters of oilseed radish variety seeds

The article highlights the specific features of the formation of seed morphometric parameters from the perspective of stability and variability in cruciferous plant species, as well as the role of this indicator in ensuring economically viable and efficient seed production of crops. The results of the influence of variable hydrothermal conditions during the seed formation period on seed morphometry are presented, and a portion of the unresolved scientific problem is identified in order to refine the objectives of the publication in relation to the broader issues of industrial seed production of widely cultivated cruciferous crops.

The article presents the results of a study on the influence of hydrothermal conditions on the formation of morphometric parameters of oilseed radish seeds and their variability depending



© Цицюра Я.Г., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

on cultivar and years of cultivation. It was established that, according to the favorability of weather conditions during the period of seed formation and filling, the years of study are ranked as follows: 2018–2015–2017–2016–2013–2020–2021–2022–2024–2019–2023–2014.

The average seed length varied within 3.278–4.058 mm, width – 2.487–3.209 mm, and thickness – 1.856–2.629 mm. The highest morphometric values were recorded for the cultivar Sabina (length – 4.058 mm, width – 3.209 mm, thickness – 2.629 mm). The coefficient of variation for length was 16.5–18.9%, width – 15.3–17.3%, and thickness – 17.1–20.7%, indicating a moderate to increased level of variability.

Strong positive correlations between seed linear parameters were identified: between length and width ($r = 0.90$), length and thickness ($r = 0.87$), and width and thickness ($r = 0.87$). Regression relationships were established: $W = 0.802 \cdot L - 0.039$; $T = 0.732 \cdot L - 0.386$; $T = 0.827 \cdot W - 0.113$. It was proven that hydrothermal conditions significantly affect seed formation, with the highest level of determination observed for precipitation: 52.85% for length, 43.30% for width, and 59.91% for thickness. It was shown that seed width is the least sensitive trait to environmental changes, while thickness is characterized by the highest variability. The obtained results confirm the strong dependence of oilseed radish seed morphological development on hydrothermal factors and can be used in breeding and improvement of cultivation technologies.

Key words: morphometric parameters of seeds, length, width, thickness, variability of seeds, correlation, hydrothermal conditions.

Постановка проблеми. Ефективне насінництво будь-якої сільськогосподарської культури ґрунтується на вивченні адаптивних механізмів формування насіння з позиції гідротермічних режимів території, рівня мінливості його морфометрії та хімічного складу [1, с. 110–111]. Важливим залишаються також питання властивостей насіння для планування комплексу операцій та добору відповідних машин для його сортування, калібрування та різних рівнів переробки [2, с. 322]. Врахування вказаних двох напрямків гарантує сталу насінницьку практику та рентабельне насінництво [3, с. 2–3].

Разом із тим, практика насінництва поширених хрестоцвітих видів рослин стикається з низкою обмежуючих факторів. До них віднесено: високу матрикальну мінливість плодів і насіння в межах суцвіття [4, с. 301–302], тривалий період цвітіння та формування насіння на різних рівнях галуження квітконоса чи суцвіття [5, с. 1162–1163], низька стійкість до осипання та відповідно високі втрати насіння (характерно для певних видів хрестоцвітих [6, с. 2–3], дрібна морфометрія насіння, що створює проблеми у якості збиральних робіт та послідовних процесах первинної та вторинної обробки насінневого вороху [7, с. 1–3], низький допустимий інтервал рівня вологості насіння для збереження його технологічних та посівних якостей, зумовлений швидкими темпами зігрівання насіння за його підвищеної вологості та спряженим гідролізом рослинних олій [8, с. 3]. Визначені чинники істотно обмежують ефективність та технологічність ведення насінництва хрестоцвітих видів рослин та зумовлюють необхідність у застосуванні додаткових агротехнологічних заходів таких як десикація, застосування регуляторів росту для гармонізації цвітіння, проведення процесів технологічної обробки насіння у єдиному циклі збиральних робіт, застосування спеціальних додаткових модулів до класичної збиральної техніки тощо [9, с. 2; 10, с. 3].

Не дивлячись на важливість саме насінництва редьки олійної у силу відмічених напрямків її використання, дані по морфологічних та фізичних параметрах насіння редьки олійної фактично відсутні у науковій літературі. Це підкреслює актуальність проведених досліджень та оцінок з позиції оптимізації технології насінництва хрестоцвітих видів рослин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Формування морфологічних параметрів насіння хрестоцвітих культур (родина Brassicaceae) є складним біологічним

процесом, що значною мірою залежить від гідротермічних умов у період генеративного розвитку рослин [11, с. 1805–1806]. Температура та вологозабезпечення виступають ключовими абіотичними факторами, які визначають процеси ембріогенезу, накопичення запасних речовин та морфогенезу насіння [12, с. 11–13].

Згідно з сучасними дослідженнями, у фазі формування та наливу насіння рослини є особливо чутливими до забезпечення теплом і вологою. Недостатнє або надлишкове зволоження, а також температурні коливання призводять до формування морфологічно неоднорідного насіння, що негативно впливає на його посівні якості та продуктивність майбутніх рослин [13, с. 441–442]. Для хрестоцвітих культур характерна висока варіабельність розмірів, маси та структури насіння, яка значною мірою обумовлена саме умовами вирощування.

Важливу роль у дослідженні впливу гідротермічних факторів відіграють моделі гідротермічного часу, які дозволяють оцінити взаємодію температури та водного потенціалу середовища [14, с. 843]. Встановлено, що температура та водний режим є визначальними факторами, які регулюють швидкість проростання, енергію проростання та морфологічні характеристики насіння. Оптимальні значення цих параметрів забезпечують формування повноцінного зародка та насінної оболонки, тоді як стресові умови призводять до порушення розвитку [15, с. 18–19].

Особливу увагу у сучасних дослідженнях приділяють впливу високих температур на формування насіння хрестоцвітих. Встановлено, що підвищення температури в період розвитку насіння призводить до прискорення ембріогенезу, однак супроводжується дефектами розвитку зародка, зниженням маси насіння та погіршенням його якості. Крім того, високі температури можуть знижувати вміст запасних речовин і змінювати морфологічну структуру насіння [16, с. 3–5].

Гідротермічні умови також впливають на анатомічну будову насіння. Сучасні методи, зокрема рентгенівська мікроскопія, дозволяють детально досліджувати внутрішню структуру насіння (зародок, сім'ядолі, насінну оболонку) та встановлювати залежність між умовами вирощування і морфологічними параметрами. Виявлено, що зміни у водному режимі можуть впливати на товщину оболонки, щільність тканин і об'єм насіння [17, с. 8–11].

Окрім температури, важливим фактором є водозабезпечення. Дефіцит вологи в період формування насіння призводить до зменшення його розмірів, маси та життєздатності. Водночас надлишкова вологість може спричинити порушення дозрівання та підвищувати ризик пошкодження насіння. Насіння хрестоцвітих культур має тонку гігроскопічну оболонку, яка легко реагує на зміну вологості, що впливає на його морфологічні та фізіологічні властивості [18, с. 7–8].

Сучасні дослідження також підкреслюють роль взаємодії генотипу та умов середовища у формуванні морфологічних характеристик насіння. Навіть за однакових умов вирощування різні генотипи можуть формувати насіння з різними морфометричними параметрами, що свідчить про складну природу цього процесу [19, с. 5–6; 20, с. 3–4].

Таким чином, аналіз наукових джерел свідчить, що гідротермічні умови є одним із ключових факторів, які визначають морфологічні параметри насіння хрестоцвітих культур. Вони впливають на розміри, масу, анатомічну структуру та якість насіння, а також на його посівні властивості. Оптимізація температурного та водного режимів у період формування насіння є важливим напрямом підвищення якості насіннєвого матеріалу та ефективності вирощування культур родини Brassicaceae.

Метою дослідження було дослідження питань морфометрії та фізичних властивостей насіння редьки олійної з метою гарантування ефективного

насіництва культури та удосконалення процесу технологічної переробки насіння на промисловій основі.

Матеріали та методи дослідження. Дослідження питань поставлених на вивчення проводили впродовж 2013–2024 рр. на дослідному полі Вінницького національного аграрного університету (N 49°11'31", E 28°22'16") на сірих лісових ґрунтах. Середній агрохімічний потенціал дослідного поля у межах ротації досліді за вказаний період оцінок: вміст гумусу 2,75% легкогідролізованого азоту 77,8 мг/кг ґрунту, рухомого фосфору 169,5 мг/кг ґрунту, обмінного калію 105,4 мг/кг ґрунту, рН_{KCl} 5,7.

Зразки насіння відбирались щороку у чотирьохразовій повторності з посівів 10 сортів редьки олійної одного строку сівби (8–12 квітня) за норми висіву 1.5 млн. шт./га схожих насінин при ширині міжрядь 30 см на фоні передпосівного удобрення N₆₀P₆₀K₆₀.

Сорти редьки олійної мали різне еколого-географічне походження та різний характер адаптивності до умов зони досліджень [21, с. 194–195] (Табл. 1) що дозволило оцінити характер внутрішньосортової мінливості основних морфологічних параметрів насіння.

Таблиця 1

Сортовий склад редьки олійної з оцінкою географічного походження за середньобагаторічним гідротермічним режимом території та адаптивністю за показником селекційної цінності (S_v)

Сорт	Параметри гідротермічних режимів зони селекції сорту за вегетаційний період		Селекційна цінність (S _v) за урожайністю насіння (оцінка за період 2015–2020 (відповідно до [21, с. 194–196]))
	Амплітуда температур, °C	ГТК	
Ніка	+6...+32	0.890...2.115	10.53
Сабіна	+6...+32	0.830...1.892	10.10
Сніжана	+8...+30	1.120...2.230	10.49
Тамбовчанка	+8...+25	1.230...2.370	9.38
Альфа	+5...+22	0.975...1.150	6.81
Ольга	+5...+18	0.890...2.410	8.96
Журавка	+5...+35	1.050...2.870	12.46
Райдуга	+5...+35	0.590...1.480	10.32
Либідь	+5...+35	0.590...1.480	8.32
Рамонта	+5...+26	0.968...1.835	12.72

Для досліджень використано насіння зібране на фазу коричневого стручка (ВВСН 87–88 [22, с. 14–18]) за рівня вологості насіння для умов сухого стандартного зберігання для олійних хрестоцвітих культур (9.5%).

Показник селекційної цінності (S_v) розраховували відповідно до рекомендацій [23, с. 68; 24, с. 4–5] застосувавши рівняння (1):

$$S_v = Y_i \frac{\bar{Y}_{i(\min)}}{\bar{Y}_{i(\max)}} \quad (1)$$

де \bar{Y}_i – середня урожайність за період оцінок для даного генотипу, $\bar{Y}_i(\min)$, $\bar{Y}_i(\max)$ – відповідно мінімальна та максимальна облікована урожайність для даного генотипу за період оцінок.

Облік параметрів насіння (довжина (L, мм) та ширина (W, мм) проводили у середовищі програми Digimizer image analysis software (v 4.2) (MedCalc software Ltd., Бельгія). Для визначення лінійних розмірів насіння відбиралось 15 г насіння (обсяг, що відповідав прогнозованій кількості за m1000 не менше 500 насінин для кожного повторення) з формуванням масиву генеральної вибірки на рівні 2000 насінин щороку (відповідно до [25, с. 36–38]). Обсяг рівномірно розподілявся по скануючій поверхні із застосуванням сканера CanoScan LIDE 700F з відповідним йому програмним забезпеченням. Товщину (T, мм) насіння визначали із застосуванням цифрового товщиноміра Mitutoyo 547-401 (Японія).

Рівень мінливості морфологічних ознак та згрупованих показників велась за шкалою варіювання відповідно до значення коефіцієнта варіації (C_v) [26, с. 181]: дуже низький ($C_v < 7\%$); низький ($C_v = 8–12\%$); середній ($C_v = 13–20\%$); підвищений ($C_v = 21–30\%$); високий ($C_v = 31–40\%$); дуже високий ($C_v > 40\%$).

Статистична оцінка результатів досліджень була проведена за використання спектру загальноприйнятих статистичних методів дисперсійного та кореляційних методів аналізу з використанням пакету статистичної програми Statistica 10.0 [27, с. 56–95].

Ступінь інтегрального зв'язку з основними показниками базових факторів системи дослідження оцінювали за значенням коефіцієнта детермінації зв'язку (d_{xy}) (рівняння 2):

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

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

За період від початку цвітіння до коричневої стиглості стручка було застосовано такі показники гідротермічних умов як: середньодобова температура ($^{\circ}\text{C}$), опади (мм), гідротермічний коефіцієнт (ГТК) (рівняння 3), (Рис. 1, Табл. 1).

$$ГТК = \frac{\sum R}{0.1 \times \sum t_{>10}} \quad (3)$$

де: $\sum R$ – сумарна кількість опадів (мм) за період із середньодобовою температурою повітря вище 10°C ; $\sum t_{>10}$ – сума ефективних температур за той самий період. За значенням ГТК (гідротермічного коефіцієнта) умови зволоження класифікують так: понад 1,6 – надмірно вологі; 1,3–1,6 – вологі; 1,0–1,3 – помірно посушливі; 0,7–1,0 – посушливі; 0,4–0,7 – дуже посушливі.

Виклад основного матеріалу дослідження. Беручи до уваги результати тривалих досліджень з оцінки сприятливості гідротермічних параметрів для оптимальних ростових процесів рослин редьки олійної та формування врожаю листостеблової маси та насіння [28, с. 220–222] зростання загальної сприятливості погодних умов у період формування та наливу насіння редьки олійної у напрямку зниження кліматичних ризиків було розміщено у такому ранжованому порядку років періоду досліджень: 2018–2015–2017–2016–2013–2020–2021–2022–2024–2019–2023–2014.

Узагальнені параметри морфометрії типового насіння редьки олійної представлено на рис. 2.

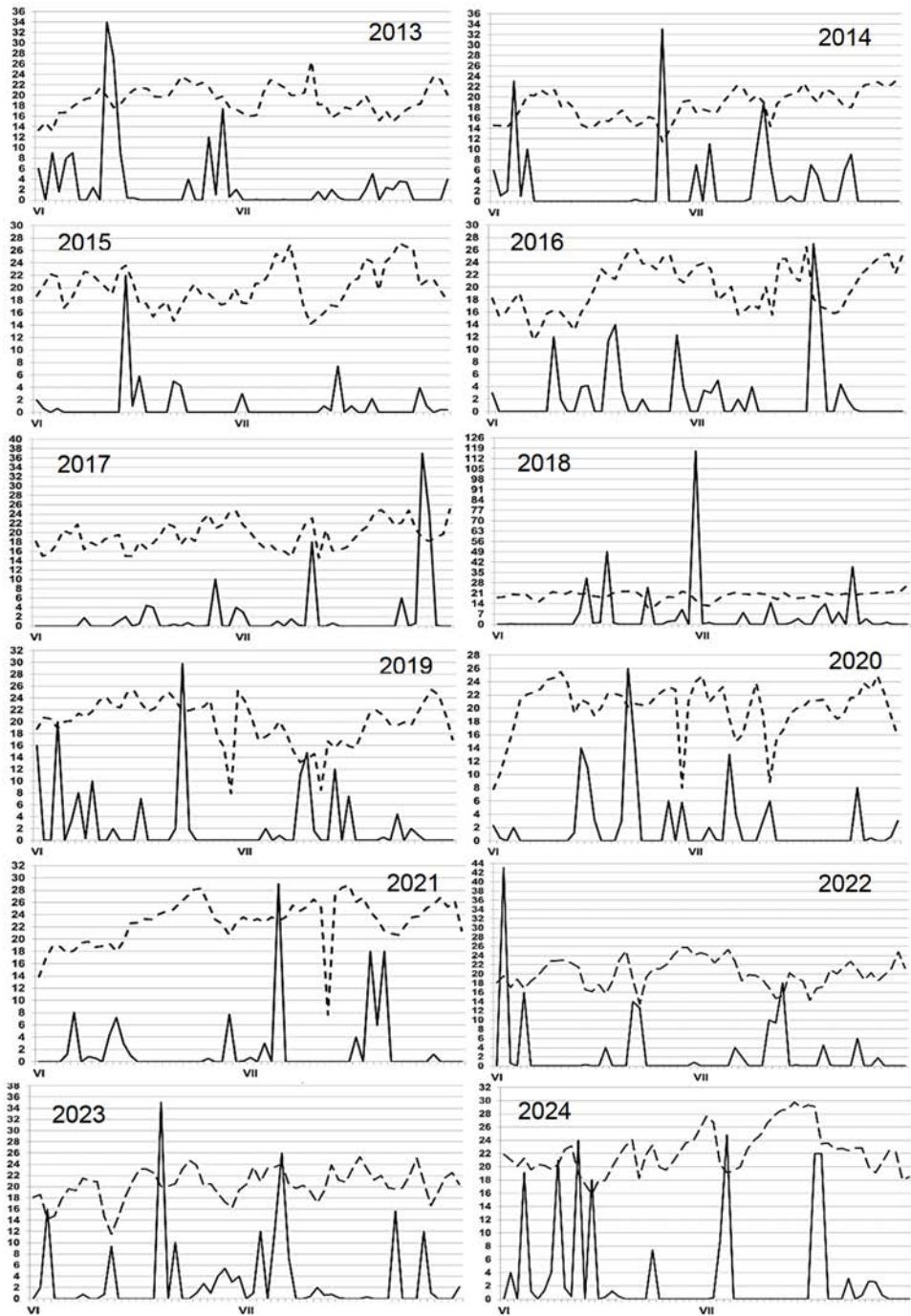


Рис. 1. Щодобова динаміка гідротермічних умов за період цвітіння-формування насіння (BBCH 57–87) у рядьки олійної, 2013–2024 рр.

Таблиця 2

**Середньомісячні показники гідротермічного режиму періоду
від початку цвітіння (ВВСН 57) до повної стиглості насіння (ВВСН 87)
у редьки олійної, 2013–2024**

Роки Місяці	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
ГТК												
VI	1,484	1,527	0,714	1,239	0,503	4,295	1,555	1,473	0,530	1,737	1,499	1,661
VII	0,851	1,324	0,316	1,070	1,503	1,736	0,998	0,648	1,077	0,909	1,364	1,190
Сума опадів, мм												
VI	91,3	76,5	41,3	72,2	28,9	248,1	100,2	88,9	34,5	104,5	90,0	104,0
VII	53,0	82,5	20,7	68,1	92,0	106,3	57,4	40,2	79,9	56,9	90,3	87,5
Середньодобова температура, °С												
VI	20,5	16,7	19,3	19,4	19,2	19,3	21,5	20,1	21,7	20,1	20,0	20,9
VII	20,0	20,1	21,1	20,5	19,8	19,8	18,5	20,0	23,9	20,2	21,4	23,7



Рис. 2. Особливості загальної морфометрії насінини редьки олійної, 2013–2024 рр.

На рис. 2 помітні сім'ядольні виступи, підсім'ядольне коліно на нижній частині насінини та зародковий корінець) на верхній частині насінини. Відповідно до цього сама насінини розділена на дві симетричних сім'ядольних долі розділених неглибокою западиною елементів гіпокотіля та колеоризи. Вираженість цих елементів найбільш помітна на насінні середньої зони стручка, а найменш помітна на насінні з верхніх зон стручка та верхніх зон генеративної частини рослини.

Аналіз отриманого масиву даних свідчить про наявність істотної міжсортової мінливості морфометричних параметрів насіння, зокрема довжини, ширини та товщини, а також рівня їх варіабельності (табл. 3).

Таблиця 3
Варіювання основних морфометричних параметрів насіння сортів редьки олійної, на підставі зведеного масиву даних за 2013–2024 рр.

Показники	Сорти									
	Ніса	Сабіна	Сніжана	Тамбов-чанка	Альфа	Ольга	Журавка	Райдуга	Либідь	Рамонга
Довжина (L), мм (середня)	3,489 ^b	4,058 ^a	3,602 ^b	3,819 ^a	3,305 ^d	3,278 ^d	3,459 ^c	3,307	3,289 ^d	3,596 ^c
Мах,	3,892	4,659	4,189	4,568	3,844	3,879	4,345	4,211	4,101	4,269
Мін,	2,841	3,09	2,758	2,918	2,096	2,215	2,602	2,657	2,512	2,714
C _v , %*	18,678	16,513	17,835	17,398	17,921	18,116	18,883	18,428	18,895	18,274
Ширина (W), мм (середня)	2,639 ^d	3,209 ^a	2,744 ^d	3,055 ^b	2,487 ^b	2,526 ^b	2,803 ^b	2,741	2,687 ^d	2,961 ^b
Мах,	3,619	3,967	3,712	3,842	3,309	3,457	3,830	3,742	3,621	3,975
Мін,	2,208	2,236	2,069	2,117	1,968	1,874	1,989	2,055	1,874	2,111
C _v , %*	15,503	15,397	15,969	15,865	15,809	15,766	16,881	16,864	17,267	16,785
Товщина (Т), мм (середня)	2,291 ^d	2,629 ^a	2,203 ^d	2,305 ^c	1,932 ^b	1,856 ^b	2,100 ^d	2,198	2,096 ^d	2,303 ^c
Мах,	3,218	3,811	3,307	3,697	2,897	3,050	3,495	3,364	3,257	3,745
Мін,	1,809	2,059	1,687	2,109	1,456	1,289	1,542	1,678	1,559	1,699
C _v , %*	18,555	17,151	20,032	17,722	20,455	20,183	20,333	20,601	20,687	19,944

Примітка: рівні значущості порівняно з національним стандартним сортом «Райдуга»: a – 0,1%; b – 1%; c – 5%; d – різниця неістотна. * – варіювання у межах загального масиву проаналізованих показників за період 2013–2024 рр.

Середні значення довжини насіння варіювали в межах 3,278–4,058 мм. Максимальний показник встановлено у сорту Сабіна (4,058 мм), що достовірно перевищує більшість інших сортів. До групи з високими значеннями також належать сорти Тамбовчанка (3,819 мм) та Сніжана (3,602 мм). Найменші значення зафіксовано у сортів Ольга (3,278 мм), Либідь (3,289 мм) та Альфа (3,305 мм).

Розмах варіювання (Мах–Мін) свідчить про значну індивідуальну мінливість ознаки в межах сортів. Коефіцієнт варіації (C_v) перебував у межах 16,5–18,9%, що характеризує середній рівень мінливості та свідчить про достатню стабільність прояву ознаки.

Середні значення ширини насіння змінювалися від 2,487 до 3,209 мм. Найбільшу ширину насіння встановлено у сорту Сабіна (3,209 мм), який достовірно перевищував інші варіанти. Високі значення також характерні для сортів Тамбовчанка (3,055 мм) та Рамонта (2,961 мм).

Найменші показники відмічено у сортів Альфа (2,487 мм) та Ольга (2,526 мм), що вказує на формування більш дрібного насіння за цим параметром.

Коефіцієнт варіації становив 15,3–17,3%, що є дещо нижчим порівняно з довжиною і свідчить про більш стабільний прояв цієї ознаки.

Товщина насіння варіювала в межах 1,856–2,629 мм. Максимальне значення встановлено у сорту Сабіна (2,629 мм), що підтверджує його лідерство за всіма досліджуваними морфометричними показниками. До групи з відносно високими значеннями також належать сорти Рамонта (2,303 мм) та Тамбовчанка (2,305 мм).

Найменшу товщину насіння сформували сорти Ольга (1,856 мм) та Альфа (1,932 мм), що узгоджується з їх нижчими показниками довжини та ширини.

Варіабельність ознаки була найвищою серед досліджуваних параметрів: коефіцієнт варіації становив 17,1–20,7%, що свідчить про значну чутливість товщини насіння до умов формування.

Узагальнюючи результати, слід зазначити, що сорт Сабіна характеризується найбільшими розмірами насіння за всіма досліджуваними показниками (довжина, ширина, товщина), що може свідчити про його високий потенціал формування повноцінного насіннєвого матеріалу.

Сорти Тамбовчанка та Рамонта також демонструють відносно високі морфометричні показники і можуть бути віднесені до групи середньо-крупнонасінних форм.

Натомість сорти Альфа, Ольга та Либідь характеризуються меншими розмірами насіння, що може впливати на їх посівні якості та енергію проростання.

Встановлено, що ширина насіння є більш стабільною ознакою, тоді як товщина характеризується найбільшою варіабельністю. Це свідчить про різний ступінь генетичної та екологічної обумовленості окремих морфометричних параметрів. Відповідно до аналогічних вивчень сталості складових лінійного розміру насіння у хрестоцвітих видів [7, с. 2–3; 9, с. 7–9; 15, с. 19–20; 19, с. 5–7] результати проведених досліджень для редьки олійної засвідчили вищі показники варіювання у співставленні до таких культур як ріпак озимий і ярий та гірчиця біла. З огляду на висновки [4, с. 302–305; 30, с. 5–6] це вказує по-перше на вищий рівень матричної мінливості насіння сортів редьки олійної, а по-друге підтверджує вищу залежність морфологічного розвитку насіння цієї культури від гідротермічних параметрів у період формування та наливу зерна.

Проведений кореляційний аналіз показав наявність тісних позитивних зв'язків між усіма морфометричними параметрами насіння. Найбільш сильний зв'язок встановлено між довжиною та шириною насіння ($r = 0,90$), що свідчить про їх узгоджене формування. Високі коефіцієнти кореляції також відмічені між довжиною і товщиною ($r = 0,87$) та шириною і товщиною ($r = 0,87$). Встановлені залежності засвідчують високий рівень параметральних взаємозв'язків між базовими лінійними параметрами насіння у редьки олійної у середньому на 15–23% вищі за показником відносного співставлення аналогічних показників коефіцієнту кореляції для ряду хрестоцвітих видів рослин відповідно до проведених попередніх їх оцінок [3, с. 5–7; 7, с. 8–9; 8, с. 7; 14, с. 843–845; 19, с. 8–9]. Такі результати додатково вказують на вищому рівні тісноти взаємовпливу у формуванні основних лінійних параметрів та високу чутливість до зміни одного із них при

модифікаційній мінливості інших двох. Це підтверджує комплексний характер формування морфологічних ознак насіння у сортів редьки олійної та їх спільну залежність від генетичних і екологічних факторів. Дані узагальнення позитивно співвідносяться із розрахованою системою рівнянь залежностей:

- ширини від довжини (W від L): $W=0,802 \cdot L-0,039$;
- товщини від довжини (T від L): $T=0,732 \cdot L-0,386$;
- товщини від ширини (T від W): $T=0,827 \cdot W-0,113$.

Залежність лінійних параметрів насіння редьки олійної від гідротермічних умов в період його формування підтверджується також результатами оцінки розмаху і варіювання морфопараметрів у розрізі років оцінки для загального масиву даних. До прикладу по параметру товщини насіння у сорту Журавка даний показник мав істотні відмінності як по середньому значенню, так і по рівню варіювання (рис. 3).

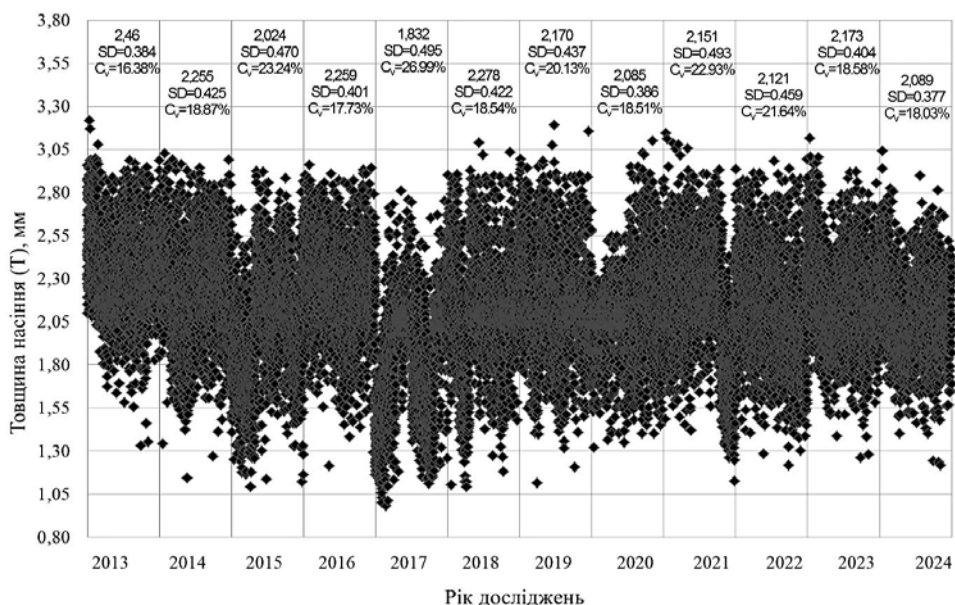


Рис. 3. Масив розмаху значень параметру товщини насіння у розрізі років досліджень в сорту Журавка, 2013–2024 рр. (для річного масиву кількості насіння $N = 2000$ шт. у групі)

Відповідно до представлених даних міжрічний рівень варіювання показника товщини насіння склав значення 23,85%, що відповідає підвищеному його рівню. При цьому річна амплітуда розмаху показника мали річну виражену специфічність за коефіцієнтом варіації від 17,73% для умов 2016 року та 26,99% для умов 2017 року. При цьому також встановлено, що нижня межа варіювання мала вищу амплітуду, ніж верхня межа з коефіцієнтом співвідношення у значенні 1,37. Такий характер, з огляду на ряд оцінок [7, с. 8; 12, с. 20–21; 15, с. 21; 29, с. 16–19] вказує на зростання частки насіння дрібних лінійних розмірів за зниження загальної оптимальності гідротермічних параметрів фенологічного періоду формування та наливу насіння редьки олійної.

Вище зроблені висновки позитивно співвідносяться з отриманими результатами дитермінаційним виразом кореляційного аналізу у співставленні основних погодних параметрів та облікованих показників морфометрії насіння у єдиному масиві даних для вивчаємих сортів редьки олійної (рис. 4).

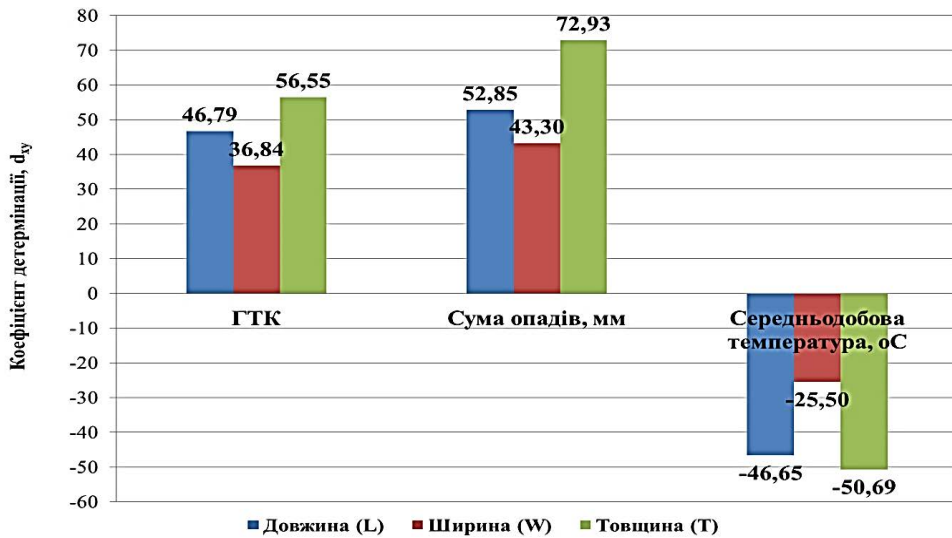


Рис. 4. Коефіцієнт детермінації залежності лінійних параметрів насіння редьки олійної від гідротермічних параметрів періоду його формування і наливу у єдиному масиві даних (комбінація сорти \times роки \times повторення при $N=480$)

За результатами проведеної оцінки рівень впливу гідротермічних умов за період формування насіння у редьки олійної був істотно відмінним для різних облікованих морфологічних параметрів. Тісноту впливу було розміщено у такому порядку зростання за об'єктом результуючого формування ознаки ширина (W) – довжина (L) – товщина (T).

Сам характер впливу мав прямоформууючий характер для параметрів ГТК та суми опадів та обернено формууючий для показника середньодобової температури за період формування і наливу насіння.

Вказані гідротермічні показники періоду мали різну силу впливу за показником коефіцієнту детермінації кореляційного зв'язку (d_{xy}) проте максимальний вплив було відмічено за показником кількості опадів. Для показника довжини насінини 52,85%, ширини насінини 43,30% та товщини насінини 59,91%. Найменша чутливість для редьки олійної по відношенню до гідротермічних умов періоду формування і наливу насіння відмічена для показника ширини насіння у відносному співставленні з коефіцієнтом 0,72 до параметру довжини насінини та 0,63 до параметру товщини насінини.

Висновки і перспективи подальших досліджень. У результаті проведеного дослідження встановлено істотний вплив гідротермічних умов на формування морфометричних параметрів насіння редьки олійної та їх варіабельність. Виявлено значну міжсорткову диференціацію за довжиною, шириною і товщиною насіння, при цьому сорт Сабіна характеризується стабільним лідерством за всіма

досліджуваними показниками, тоді як сорти Альфа, Ольга та Либідь формують дрібніше насіння.

Доведено, що ширина насіння є відносно стабільною ознакою, тоді як товщина відзначається найбільшою чутливістю до умов середовища. Встановлено тісні позитивні кореляційні зв'язки між усіма лінійними параметрами насіння, що свідчить про їх узгоджене формування та комплексну генетично-екологічну обумовленість.

Підтверджено визначальну роль гідротермічних факторів, зокрема прямоформуєчого характеру впливу з кількістю опадів (при коефіцієнті детермінації $d_{xy} = 52,02\%$) і оберненоформуєчого характеру з рівнем середньодобової температури ($d_{xy} = -40,95\%$), у процесах формування насіння, де найбільший вплив спостерігається на показник товщини. Отримані результати свідчать про високу чутливість культури до змін погодних умов та можуть бути використані для обґрунтування селекційних підходів і оптимізації технологій вирощування редьки олійної в умовах кліматичної мінливості.

Подальші наукові дослідження доцільно спрямувати на поглиблене вивчення механізмів формування морфометричних параметрів насіння редьки олійної з урахуванням взаємодії генетичних особливостей сортів і змінних гідротермічних умов. Перспективним є розширення спектра досліджуваних генотипів із метою виявлення джерел стабільності та адаптивності до кліматичних коливань. Важливим напрямом є деталізація впливу окремих погодних чинників (температурних стресів, нерівномірності опадів, екстремальних явищ) на формування як морфометричних показників, так і посівних якостей насіння. Доцільним також є застосування сучасних методів математичного моделювання та прогнозування для оцінки змін продуктивності та якості насіннєвого матеріалу в умовах кліматичних змін. Окрему увагу слід приділити дослідженню фізіолого-біохімічних процесів формування насіння, а також встановленню зв'язку між морфометричними параметрами та показниками схожості, енергії проростання і врожайності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Kumar S., Sripathy K.V., Udaya Bhaskar K., Vinesh B. Principles of Quality Seed Production. In: Dadlani, M., Yadava, D.K. (eds) Seed Science and Technology. Springer, Singapore. 2023. P. 109–131 https://doi.org/10.1007/978-981-19-5888-5_6
2. Baalbaki R Editorial. *Seed Science Technology*. 2021. Vol. 49. № 3. P. 321–330. <https://doi.org/10.15258/sst.2021.49.3.11>
3. Hampton J. G., Conner A. J., Boelt B., Chastain T. G., Rolston P. Climate Change: Seed Production and Options for Adaptation. 2016. *Agriculture*. Vol. 6. № 3. 33. <https://doi.org/10.3390/agriculture6030033>
4. Tsytsiura Y.H. Matrix quality variability of oilseed radish (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.) and features of its formation in technologically different construction of its agrophytocenosis. *Agronomy Research*. 2021. Vol. 19. № 1. P. 300–326 <https://doi.org/10.15159/ar.21.003>
5. Tsytsiura Y.H. Evaluation of the efficiency of oil radish agrophytocenosis construction by the factor of reproductive effort. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2019. Vol. 25. № 6. P. 1161–1174.
6. Liu L., Javed H.H., Hu Y., Luo Y.Q., Peng X., Wu Y.C. Research progress and mitigation strategies for pod shattering resistance in rapeseed. *PeerJ*. 2024. Vol. 12, e18105. <https://doi.org/10.7717/peerj.18105>
7. Wiwart M., Kurasiak-Popowska D., Suchowilska E., Wachowska U., StuperSzablewska K. Variation in the morphometric parameters of seeds of spring and

winter genotypes of *Camelina sativa* (L.) Crantz. *Industrial Crops Production*. 2019. Vol. 139. 111571. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111571>

8. Jannat A., Ishikawa-Ishiwata Y., Furuya J. 2022. Does Climate Change Affect Rapeseed Production in Exporting and Importing Countries? Evidence from Market Dynamics Syntheses. *Sustainability*. 2022. Vol. 14. № 10. 6051. <https://doi.org/10.3390/su14106051>

9. Raboanatahiry N., Li H., Yu L., Li M. Rapeseed (*Brassica napus*): Processing, Utilization, and Genetic Improvement. *Agronomy*. 2021. Vol. 11. № 9. 1776. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091776>

10. Sokólski M., Załuski D., Szatkowski A., Jankowski K.J. Winter Oilseed Rape: Agronomic Management in Different Tillage Systems and Seed Quality. *Agronomy*. 2023. Vol. 13. № 2. 524. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020524>

11. Rajasekhar M., Edukondalu L., Smith D.D., Veeraprasad G. Effect of Hydrothermal Treatment on Milling Characteristics of Finger Millet. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2018. Vol. 7. № 10. P. 1804–1811. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.710.206>

12. Sander H. van Delden On seed physiology, biomechanics and plant phenology in *Eragrostis tef*. Thesis PhD. Wageningen University, Wageningen, the Netherlands. 2011. 186 p.

13. Fernández-Pascual E., Mattana E., Pritchard H.W. Seeds of future past: climate change and the thermal memory of plant reproductive traits. *Biological Reviews*. 2019. Vol. 94. P. 439–456. <https://doi.org/10.1111/brv.12461>

14. Tsytsiura Y. 2022. The influence of agroecological and agrotechnological factors on the generative development of oilseed radish (*Raphanus sativus* var. *oleifera* Metzg.). *Agronomy Research*. Vol. 20. № 4. P. 842–880. <https://doi.org/10.15159/ar.22.035>

15. Prakhova T.Y., Prakhov V.A., Brazhnikov V.N., Brazhnikova O.F. Oil seed crops-biodiversity, value and productivity. *Journal of Farming*. 2019. Vol. 3. P. 18–23.

16. Final Report Summary – ECOSEED. Impacts of Environmental Conditions on Seed Quality. URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/311840/reporting/es> (дата звернення 27.04.2026).

17. Vinogradova A. Possibilities of Oil Radish Cultivation. Thesis. Degree Programme in Natural Recourses, Agriculture and Rural Enterprises. Seinäjoki University of Applied Sciences. 2024. 52 p.

18. Zhou Y., Shang W., Hui Y., Shi C., Gao J., Zhang Y., Liu J., Cheng D., Zhu K. Construction of an Accurate Wheat-Grain Model Based on X-ray Tomography and Bonding Parameters by Discrete Element. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13. 9265. <https://doi.org/10.3390/app13169265>

19. Manzoor A., Bashir M.A., Naveed M.S., Cheema K.L., Cardarelli M. Role of Different Abiotic Factors in Inducing Pre-Harvest Physiological Disorders in Radish (*Raphanus sativus*). *Plants*. 2021. Vol. 10. № 10. 2003. <https://doi.org/10.3390/plants10102003>

20. Zhu F., Paul P., Hussain W., Wallman K., Dhatt B.K., Sandhu J., Irvin L., Morota G., Yu H., Walia H. SeedExtractor: An Open-Source GUI for Seed Image Analysis. *Frontiers in Plant Science*. 2021. Vol. 11. 581546. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.581546>

21. Tsytsiura Y. Assessment of the relation between the adaptive potential of oilseed radish varieties (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.) and chlorophyll fluorescence induction parameters. *Agronomy Research*. 2023. Vol. 20. № 1. P. 193–221. <https://doi.org/10.15159/ar.23.001>

22. Test Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability of Fodder Radish (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.). 2017. TG/178/3, UPOV, Geneva. 19 p.

23. Kaletnik G., Kulyk M., Pryshliak N., D'omin D., Rozhko I. Adaptive properties of plants and yield of energy crops under different growing conditions: A case study

from Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*. 2025 Vol. 26. № 7. 67–76. <https://doi.org/10.12911/22998993/203134>

24. De Jong G. 1994. The Fitness of Fitness Concepts and the Description of Natural Selection. *The Quarterly Review of Biology*. Vol. 69. № 1. P. 3–29. <https://doi.org/10.1086/418431>

25. DSTU 4138-2002. Seeds of agricultural crops. Methods of quality determination. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy. 2003. 173 p.

26. Pélabon C., Hilde C.H., Einum S., Gamelon M. On the use of the coefficient of variation to quantify and compare trait variation. *Evolution Letters*. 2020. Vol. 4. P. 180–188. <https://doi.org/10.1002/evl3.171>

27. Wong J. Handbook of statistical analysis and data mining applications. Cambridge, Academic Press. 2018. 589 p. <https://doi.org/10.1016/C2012-0-06451-4>

28. Tsytsiura Y.H. Modular-vitality and ideotypical approach in evaluating the efficiency of construction of oilseed radish agrophytocenosises (*Raphanus sativus* var. *oleifera* Pers.). *Agraarteadus*. 2020. Vol. 31. № 2. P. 219–243. <https://doi.org/10.15159/jas.20.27>

29. Shukla B.D., Srivastava P.K., Gupta R.K. Oilseeds processing technology. Central institute of agricultural engineering. Nabi Bagh, Berasia Road, BHOPAL-462 018, INDIA. 1992. 251 p.

30. Sabelli P.A., Larkins B.A. New insights into how seeds are made. *Frontiers in Plant Science*. 2015. Vol. 26. № 6. 196. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00196>

Дата першого надходження статті до видання: 30.04.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 22.05.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026