

УДК 635.15:631.5

DOI:10.37128/2707-5826-2023-4-3

**ДОСЛІДЖЕННЯ СТРЕСОСТІЙКОСТІ
СОРТІВ РЕДЬКИ ОЛІЙНОЇ ДО
МІНУСОВИХ ТЕМПЕРАТУР МЕТОДОМ
ФЕОФІТИНІЗАЦІЇ ХЛОРОФІЛУ**

Я.Г. ЦИЦЮРА, кандидат с.-г.
наук, доцент

У статті висвітлено результати вивчення особливостей формування стресостійкості 14 сортів редьки олійної різного еколого-географічного походження до мінусових температур у розрізі 5 базових фенологічних стадій (фаза сім'ядолей (ВВСН 10), фаза розетки (ВВСН 14–16), фаза стеблуння (ВВСН 34–36), фаза бутонізації (ВВСН 50–52) та фазу цвітіння (ВВСН 65–67)) з діапазоном температур $-1,0...-12,0$ °C із дослідним кроком пониження в $1,0$ °C на підставі апробованої методики фітофітинізації хлорофілу після фізіологічно доцільного терміну проморожування листків. Досліджено особливості стрес-реакцій з огляду на частку фітофітинізованої поверхні листка на основі обробки сканованих зображень листкових пластин відібраних із живих рослин у відповідні фази їх росту і розвитку. Проаналізовано фізіологічні аспекти та опрацьовано літературні джерела щодо оцінки температурної толерантності хрестоцвітних видів рослин зокрема редькових підвидів та зроблено узагальнення щодо адаптивного потенціалу редьки олійної як виду для умов Лісостепу Правобережного України.

На підставі багаторічного періоду досліджень (2015–2022 рр.) оцінено оптимальний фізіологічний інтервал реакції різних генотипів редьки олійної на мінусові температури та визначено найбільш стійкі фенологічні фази по відношенню до морозостійкості рослин за індикаторної нетривалої експрес-реакції тканин листка за результатами їх проморожування у контрольованих умовах. Визначено динамічний ряд сортів редьки олійної у напрямку зростання стресостійкості генотипу до мінусових температур для усереднених значень в інтервалі від фази сім'ядолей до фази цвітіння: Либідь – Журавка – Рамонта – Івея – Ніка – Пригажунья – Сабіна – Факел – Райдуга – Альфа – Сніжана – Тамбовчанка – Лінія ІРГСГІ – Ольга.

Оцінено вплив загальної стресовості рослин редьки олійної на підставі значення гідротермічного коефіцієнту (ГТК) за період вегетації на детермінацію стресостійкості до низьких температур та зроблено висновок про комбінаторний характер формування предадаптивних реакцій рослин редьки олійної по відношенню до низьких температур.

Визначено при цьому характер динамічних змін у кривій фітофітинізації хлорофілу тканин листка за якими опосередковано можна аналізувати відхилення у стійкості до мінусових температур у критичні періоди росту і розвитку рослин редьки олійної. Додатково оцінено динамічність формування показника фітофітинізації хлорофілу листків у 14 сортів редьки олійної з деталізацією вказаного процесу на різних феностадіях росту і розвитку та відмічено рівень летальності цього процесу за відповідного значення застосованих температур проморожування.

У статті сформульовано перспективи подальших досліджень у сфері оптимізації діагностування стресостійкості рослин редьки олійної до мінусових температур на основі пролін-біохімічного методу ідентифікації на тканинному рівні.

Ключові слова: редька олійна, сорт, стресостійкість, морозостійкість, адаптація.

Табл. 3. Рис. 4. Літ. 15.

Постановка проблеми. Зростання варіативності амплітудних коливань гідротермічного режиму періоду вегетації з огляду на кліматичні зміни залишається для умов України важливим питанням формування адаптивних технологічних стратегій гарантування сталості аграрного виробництва. З іншого боку генотипічна складова адаптивних пристосувань сортового та гібридного складу сучасної

селекції для реалізації урожайного потенціалу культури також відомий і поширений чинник управління вказаним потенціалом. Серед відмічених показників адаптивності холодостійкість є тим фактором, який визначає можливість різнострокового вирощування даного виду з можливістю застосування широкого діапазону термінів на ранні та максимально ранні, а з позиції проміжного вирощування певної сільськогосподарської культури – дозволяє застосовувати систему пізньолітнього та осіннього вирощування (сидеральний та фітореMediaційний варіанти). Холодова толерантність, крім того, гарантує гармонізацію ростових процесів рослин за умови інтенсивних амплітуд високих денних на фоні низьких нічних температур, що для умов України має останні роки ще більш виражений характер, особливо у період квітня-початку червня місяця [1].

Підходи до оцінки холодостійкості сільськогосподарських культур сьогодні різні. Їх можна розділити на ряд системних напрямів, зокрема: пряма візуальна оцінка за станом рослин протягом тривалого періоду зонально-екологічних випробувань у різних ґрунтово-кліматичних зонах; індукційно-стресові способи за рахунок створення штучних умов понижених температур різної амплітуди та різної тривалості як в умовах відкритого, так і в умовах закритого ґрунту в тому числі і за рахунок застосування спеціалізованих режимів кліматокамер; індикативні методи оцінки, які базуються на перевірених тестер-ознаках оцінки холодової реакції рослин по відношенню до окремих їх частин при застосування відповідних варіантів співставлення та оцінки [2–3].

Ефективність вказаних варіантів оцінки та вивчення холодостійкості залишається дискусійним питанням незважаючи на значний накопичений експериментальний матеріал, отримання відповідної системи патентно-ліцензійних напрацювань та широкої апробації застосованих методів у практиці генотипової оцінки як вихідного матеріалу, так і сортів і гібридів у форматі їх післяреєстраційного вивчення [4].

Разом з тим, в останні роки варіанти застосування оцінки прямої тканинної стрес-реакції рослин на низькі температури у різних варіантах оцінки спектру адаптивності сортів та гібридів знаходить все більш широке практичне застосування, оскільки вони базуються на елементах первинно-наслідкової реакції, яка по своїй суті визначає весь подальший стан рослин, можливість рослинного організму до відновлення повнопрофільних фізіологічних функцій та забезпечення у підсумку реалізації урожайного потенціалу [3]. Проблемним при цьому залишається аспект підбору оптимального варіанту із спектру даних методів, який дозволяв би забезпечити достовірну оцінку рослин щодо ознак холодостійкості та був би ефективним з позиції наочності та доступності його застосування [5].

Враховуючи ці твердження вивчення холодостійкості рослин на основі методу тканинної реакції за динамічного зниження температур на прикладі редьки олійної, яка має специфічну виражену сталу холодову реакцію – актуальне завдання, що потребує відповідного наукового узагальнення та дозволить модифікувати ефективність методології оцінки адаптивного потенціалу сільськогосподарських рослин.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Вивчення питання холодостійкості хрестоцвітих культур висвітлено у наукових працях цілого ряду дослідників [2, 4, 6–9].

У більшості вказаних досліджень відмічається, що холодостійкість редькових як специфічної групи хрестоцвітих культур має цілий ряд специфічних пристосувань з позиції як морфологічних особливостей, так і фізіологічних реакцій на стресові фактори [6]. Норма реакції даної виду представлена широким спектром допусків з огляду на варіативність комбінаторики упродовж відповідних критичних періодів росту і розвитку рослин [4].

З іншого боку типові представники роду *Raphanus* мають чутливу реакцію асиміляційної поверхні та стеблової частини як на інтенсивне наростання середньодобових температур, так і на зворотні процеси її зниження [7]. На фоні визначеної осмотичної реакції даного виду рослин на тривалі періоди дефіциту зволоження та чіткі ідентифікаційні ознаки в'янення – рослини даного роду у ряді досліджень розглядаються як ефективні модельні біологічні об'єкти для оцінки застосованих польових і лабораторних методів різного фізіологічного спрямування [4, 8].

При цьому слід відмітити, що тканинна система ідентифікації холодостійкості у переважній більшості носить констатуючий характер на певну фенологічну фазу розвитку культури або ж у випадку дослідження певних реакцій на можливі діапазонні зміни стрес-фактора, у нашому випадку низьких температур. Цього буває недостатньо для адекватної оцінки реакції рослинного організму з огляду на зміну фізіологічної та адаптивної стійкості рослин у процесі їх стадійного розвитку та біологічного «старіння» особливо за умови сприятливого чи несприятливого комплексу адитивних факторів та едафічних умов росту і розвитку [2].

Відмічається також [3, 9] що холодостійкість рослин може змінюватись залежно від характеру так званих критичних періодів, тобто періодів із надчутливістю до відповідного лімітуючого фактора, зокрема дефіциту вологи, дисбалансу температур, нестачі елементів живлення тощо [5].

Зауважується також, що чисто лабораторні методи оцінки холодостійкості, за умови відсутності предадаптивних реакцій рослинного організму та повноцінної біохімічної фізіологічної сигнальної системи – не дають достатньо повної уяви про величину досліджуваного показника, зокрема з позиції оцінки посухо- та холодостійкості [3].

Оптимальними, з огляду на вище наведені факти, є застосування комбінованого підходу поєднання польових та лабораторних методів оцінки [5].

Слід також зауважити, що застосування та адаптація відповідних моделей оцінки холодостійкості для групи хрестоцвітих культур у більшості випадків обмежувалась практикою вивчення озимого ріпаку [2].

Таким чином, дослідження системи поєднання лабораторних і польових методів оцінки редьки олійної як типового представника родини хрестоцвітих із широким адаптивним потенціалом [9] дозволить поглибити наші знання у галузі формування адаптивних стрес-реакцій рослин на різкі зміни абіотичних чинників

довкільля та дозволить використати ці біологічні механізми у формуванні адаптивних елементів технології вирощування хрестоцвітих культур.

Умови та методика досліджень. Дослідження проводились впродовж 2015–2022 рр. на дослідному полі Вінницького національного аграрного університету (N 49°11'31", E 28°22'16") на темно-сірих лісових ґрунтах (ґрунти Luvic Greyic Phaeozem). Агрохімічний потенціал поля: вміст гумусу: 2,02–3,2%, легкогідролізованого азоту 67–92, рухомого фосфору 149–220, обмінного калію 92–126 мг кг⁻¹ ґрунту при рНксл 5,5–6,0.

У вивченні використовувалися 14 сортів редьки олійної різного еколого-географічного походження та різної селекції, отримані в рамках співпраці з Національним центром генетичних ресурсів рослин України (табл. 1).

Таблиця 1

Сортовий склад редьки олійної, який перебував у вивченні з оцінкою географічного походження за середньобагаторічним гідротермічним режимом території

Сорт	Параметри гідротермічних режимів зони селекції сорту за вегетаційний період		
	Амплітуда температур, °C	ГТК	Температура весняних заморозків на можливій мікростадії для редьки олійної BBCH 10–15, °C
Ніка	+6...+32	0,890...2,115	-3...-7
Пригажунья	+6...+32	0,830...1,892	-3...-6
Сабіна			
Івея	+8...+35	0,780...1,785	-3...-5
Сніжана	+8...+30	1,120...2,230	-3...-7
Тамбовчанка	+8...+25	1,230...2,370	-3...-10
Альфа	+8...+35	0,975...1,150	-3...-7
Ольга	+5...+21	0,890...2,410	-5...-12
Лінія ІРГСГІ			
Журавка	+5...+35	1,050...2,870	-2...-7
Райдуга	+5...+35	0,590...1,480	-2...-6
Либідь			
Факел	+5...+37	0,470...1,105	-1...-5
Рамонта	+5...+26	0,968...1,835	-2...-5

Джерело сформовано на основі власних узагальнень гідротермічного режиму території місця селекції сорту відповідно до оригінатора-заявника.

Закладка та методичний супровід досліджень проведено відповідно до методики дослідної справи з хрестоцвітими культурами [10] при обліковій площі ділянки 25 м² у 4-х кратному повторенні. Фенологічну періодизацію розвитку рослин редьки олійної проводили відповідно до мікростадійної періодизації періоду за BBCH (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemical industry) з методичними підходами відповідно до міжнародного протоколу детермінації редьки олійної на сортову однорідність та стабільність [11]. У статті із застосовуваних у загальній схемі дослідів різних варіантів норми висіву рядкового та широкорядного способу подано результати при

застосуванні широкорядного способу сівби (міжряддя 30 см) з нормою висіву 1,5 млн. шт./га схожих насінин на неудобреному фоні відповідно до рекомендацій для співставлення генотипів. Вказаний варіант в умовах регіону досліджень дозволяє поєднати реалізацію сортового потенціалу рослин редьки олійної та технологічність його застосування з огляду на поєднання високих рівнів індивідуальної продуктивності рослин у комбінації з густотою стояння, що забезпечує досягнення потенційних рівнів урожайності [9].

Строк сівби на всіх варіантах досліджень коливався в межах 8–12 квітня і визначався умовами однакових параметрів фізичної стиглості ґрунту та значень середньодобових температур.

Гідротермічний коефіцієнт (ГТК) періоду досліджень визначали за загальноприйнятою формулою (1):

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

де сума опадів ($\sum R$) в мм за період з температурою вище 10 °С, сума ефективних температур ($\sum t_{>10}$) за той самий період, зменшена в 10 разів. Ранжування значень НТС [12]: ГТК > 1,6 – надмірна вологість, ГТК 1,3–1,6 – вологі умови, ГТК 1,0–1,3 – помірно посушливі умови, ГТК 0,7–1,0 – посушливі умови, ГТК 0,4–0,7 – дуже посушливі умови.

Аналіз погодних умов та рівня їх мінливості за період 2015–2022 рр. проводився на основі коефіцієнта значущості відхилень (C_{sd}) елементів агрометеорологічного режиму кожного з досліджуваних років від середньої багаторічної за формулою 2:

$$C_{sd} = \frac{(X_i - X_{av})}{S} \quad (2)$$

C_{sd} – коефіцієнт значущості відхилень; поточний елемент погоди; X_{av} – показник середнього багаторічного значення; S – середнє квадратичне відхилення; i – порядковий номер року. Рівень C_{sd} : 0 ÷ 1 – умови близькі до нормальних; 1 ÷ 2 – умови суттєво відрізняються від середніх багаторічних; > 2 – умови близькі до екстремальних. За значущістю відхилень середньомісячного значення ГТК від середніх багаторічних даних роки періоду досліджень за величиною C_{sd} (табл. 2) класифіковано як 2015 р. – екстремально посушливий, 2016–2017 р. – посушливі зі значними відмінностями від середніх багаторічних даних, 2018 та 2021 рр. – динамічно змінні із екстремумами надмірного зволоження та екстрапосушливих умов, 2019, 2020 та 2022 рр. – умови, близькі до типових для багаторічного гідротермічного режиму району досліджень. Роки досліджень у порядку зростання стресового впливу на ростові процеси рослин редьки олійної з позиції динаміки амплітуди зміни середньодобових температур розміщуються в наступному порядку: 2022–2021–2019–2020–2018–2016–2017–2015. Оцінка гідротермічного режиму періоду вегетації досліджуваних сортів редьки олійної проводили з метою оцінки зв'язку встановлених реакцій на низькі температури із

Таблиця 2

Оцінка значень ГТК протягом вегетації редьки олійної, 2015-2022 рр.

Рік дослідження	Місяці періоду вегетації										У середньому за період V–IX
	V		VI		VII		VIII		IX		
	X _i	C _{sd}	X _i	C _{sd}	X _i	C _{sd}	X _i	C _{sd}	X _i	C _{sd}	C _{sd}
2015	0,719	-0,263	0,613	-1,051	0,230	-2,028	0,061	-1,119	0,684	-1,124	-1,117
2016	1,227	0,245	0,893	-0,771	0,682	-1,576	0,486	-0,694	0,063	-1,745	-0,908
2017	0,645	-0,337	0,349	-1,315	0,806	-1,452	0,563	-0,617	1,983	0,175	-0,709
2018	0,258	-0,724	3,124	1,460	1,349	-0,909	0,349	-0,831	0,680	-1,128	-0,427
2019	4,710	3,728	1,555	-0,109	1,003	-1,255	0,235	-0,945	0,945	-0,863	0,111
2020	5,489	4,507	1,474	-0,190	0,649	-1,609	0,474	-0,706	1,208	-0,600	0,280
2021	0,530	-0,452	1,077	-0,587	1,589	-0,669	1,513	0,333	0,879	-0,929	-0,461
2022	1,388	0,406	1,483	-0,181	0,854	-1,404	1,770	0,590	0,905	-0,903	-0,299
X _{av} (1990–2022)	1,871		1,321		0,895		0,681		0,918		–
S (2015–2022)	1,905		0,794		0,396		0,577		0,508		–

Джерело сформовано на основі власних результатів досліджень

фізіологічним станом рослин, зумовленим погодними чинниками у період, який передував відповідному фенологічно стадійному відбору листкового апарату для аналізу на холодостійкість.

Для визначення холодостійкості вегетуючих рослин редьки олійної у різні фенологічні фази росту і розвитку використовували широкоапробовані методики аналізу на підставі стрес-реакції за ступенем пошкодження тканин адаптовану до рослин редьки олійної [13–14]. Для досліджень відбиралось листя середнього ярусу з рослин вивчаємих сортів редьки олійної у відповідні фенофази для забезпечення типовості фізіологічного стану асиміляційної поверхні за різних температурних режимів оцінки холодостійкості. Рослини для збереження тургорних характеристик асиміляційної частини рослин відбирались у полі мікромонологічним способом у ранкові часи з огляду на істотно нижчі ризики фізіологічних змін викликані викопуванням та переміщенням рослин. Відібрані зразки по 5 типових листків поміщали у камеру з режимом сухого проморожування з градієнтом вивчення температури від -1 до -12 °C. Проморожування здійснювали в холодильній камері CRO/400/40, дооснащеній системою контролю температурного поля.

Досягнення точки температурного випробовування за варіантом проводили поступовим зниженням температури за вимог температурної передаптації. Після досягнення заданої для певного варіанта температури зразки проморожували протягом 15 хвилин з врахуванням рекомендації оцінки холодостійкості для хрестоцвітих видів рослин з роду *Raphanus* [6]. Однотипові

варіанти температурних градієнтів досліджень проводили в 4-х разовому повторенні. Листки з камери переносили у кристалізатор з водою кімнатної температури. Після цього листя переносилось у посудину з розчином 0,2 Н HCl де утримувалось протягом 15 хвилин. За рахунок впливу низьких температур за певного їх рівня відбувалось руйнування мембран клітин листкових пластинок, вони починали пропускати кислоту, яка у процесі феофітинізації хлорофілу викликала побуріння зон температурного ураження. Ступінь морозостійкості зразків визначали за часткою побурівших тканин листової пластинки у % до загальної площі сканованого зображення листової пластинки.

Для визначення ступеня ураження листкових пластинок застосовували обробку сканованого зображення у середовищі програмного пакету Image J.

Статистичну оцінку отриманих результатів обліків проводили відповідно до загально застосовуваних рекомендацій [15].

Виклад основного матеріалу досліджень. Слід зауважити, що врахування зональних особливостей морозостійкості з метою детермінації зон потенційного вирощування відповідних біологічних груп рослин є питанням актуальним. Для умов України таке зонування представлено на рис. 1.

Виходячи із представленої картограми для багаторічних культур бажаний середній поріг морозостійкості для умов Лісостепу Правобережного України має складати $-20...-23^{\circ}\text{C}$, а для умов однорічних культур хрестоцвітної групи $-5...-8^{\circ}\text{C}$ про що відмічено у наших попередніх публікаціях [9]. З огляду на це, адаптивний ідіотип сортів редьки олійної, найбільш придатних до вирощування в умовах ідіотип сортів редьки олійної, найбільш придатних до вирощування в умовах

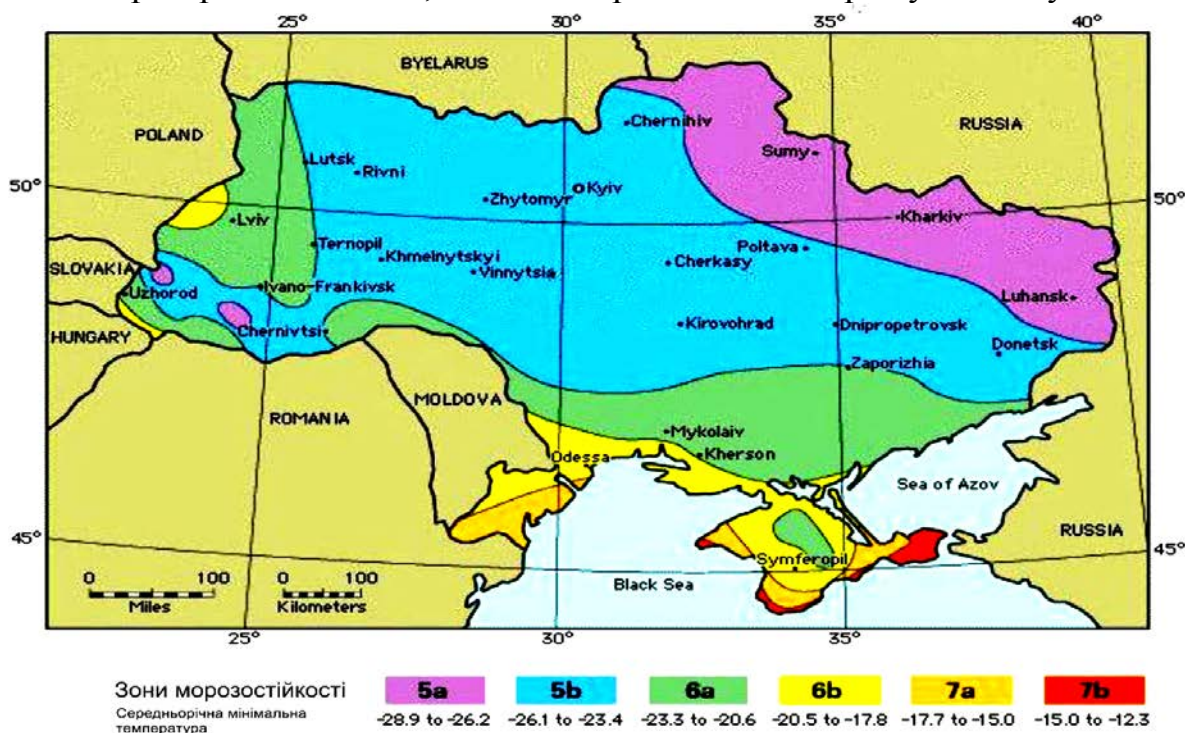


Рис. 1. Зони морозостійкості рослин в Україні.

Джерело URL: https://zhivoplit.com.ua/uk/blog/5_zoni-morozostijnosti-roslin-v-ukrayini.html (дата звернення 03.05.2023 р.)

України, має відповідати визначеному інтервалу з врахуванням ризиків таких температур у період від другої декади квітня до третьої декади травня включно для умов України [13]. Саме ці чинники зумовили варіативний блок наших досліджень з огляду на досліджений і визначений інтервал холодо- та морозостійкості для редьки олійної [9].

Результати вивчення морозостійкості різних генотипів редьки олійної (табл. 3) засвідчили істотність відмінностей їх стрес-реакції на мінусові температури на фоні визначених загальних закономірностей формування ознак такої реакції на підставі аналізу феофітинізації хлорофілу ділянок листків середнього ярусу.

Таблиця 3

Оцінка морозостійкості сортів редьки олійної визначена за ступенем ушкодження листків при їх проморожуванні (середнє за 2015–2022 рр.)

Сорт	Температурний режим проморожування, °C											
	-1,0	-2,0	-3,0	-4,0	-5,0	-6,0	-7,0	-8,0	-9,0	-10,0	-11,0	-12,0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
На фазу сім'ядолей (ВВСН 10)												
Ніка	4,7	7,4	9,7	13,8	21,1	48,9	75,6	84,8	93,6	100,0	100,0	100,0
Пригажунья	5,0	7,8	10,3	14,2	21,6	50,2	77,1	86,3	95,2	100,0	100,0	100,0
Сабіна	4,4	6,8	9,1	12,9	19,2	43,8	71,8	80,9	89,7	100,0	100,0	100,0
Івея	4,5	7,6	9,9	13,5	19,6	47,1	73,9	82,8	91,8	100,0	100,0	100,0
Сніжана	3,7	6,2	8,3	12,0	18,3	39,8	68,9	77,9	84,8	100,0	100,0	100,0
Тамбовчанка	3,4	5,5	7,1	10,4	16,7	32,6	60,8	71,5	80,2	91,8	100,0	100,0
Альфа	4,7	6,7	8,7	12,3	20,4	42,8	72,4	79,8	90,7	96,9	100,0	100,0
Ольга	2,4	3,1	6,4	8,6	15,5	28,7	52,9	63,8	81,4	96,7	97,8	100,0
Лінія ІРГСГІ	3,3	3,3	7,1	9,1	15,9	29,8	54,8	65,8	83,7	94,2	97,4	100,0
Журавка	5,6	8,2	10,8	14,9	22,7	53,5	79,2	87,9	95,4	100,0	100,0	100,0
Райдуга	4,7	7,3	9,5	13,0	18,7	39,6	73,8	86,2	93,5	100,0	100,0	100,0
Либідь	6,0	7,6	10,4	15,2	23,7	55,6	81,5	89,8	97,3	100,0	100,0	100,0
Факел	5,6	7,1	9,0	12,4	18,4	41,2	75,9	89,9	96,8	100,0	100,0	100,0
Рамонта	5,2	8,3	10,9	13,9	21,1	45,7	81,3	92,8	98,1	100,0	100,0	100,0
НІР ₀₅	1,1	1,5	1,7	2,4	3,7	3,2	3,8	2,1	2,7	1,1	-	-
На фазу розетки (ВВСН 14–16)												
Ніка	3,4	5,1	6,3	10,3	16,9	30,1	57,2	67,2	87,4	95,1	100,0	100,0
Пригажунья	4,2	5,3	6,7	10,4	17,3	32,4	53,2	64,8	90,8	97,9	100,0	100,0
Сабіна	3,1	4,7	6,4	9,9	16,9	33,7	50,9	64,8	85,6	93,9	100,0	100,0
Івея	3,3	5,8	7,5	10,9	17,1	36,8	55,2	67,5	87,4	98,4	100,0	100,0
Сніжана	2,4	3,8	5,7	9,2	13,7	21,9	41,8	56,9	88,7	98,8	100,0	100,0
Тамбовчанка	2,3	3,5	4,8	8,6	10,7	14,6	33,9	67,8	90,9	97,1	100,0	100,0
Альфа	3,2	4,8	6,5	10,3	12,8	19,2	42,6	70,8	93,8	98,8	100,0	100,0
Ольга	1,7	2,6	4,1	6,8	10,5	17,2	36,8	47,9	82,8	87,3	93,5	100,0
Лінія ІРГСГІ	2,6	2,7	4,9	8,2	13,7	19,6	42,8	54,3	77,9	88,8	92,2	100,0
Журавка	4,5	6,3	8,2	13,6	18,9	29,8	57,8	71,2	90,6	98,7	100,0	100,0
Райдуга	3,1	4,8	5,3	8,9	15,8	20,3	48,4	60,9	84,8	95,6	100,0	100,0
Либідь	5,5	6,9	9,4	15,2	20,7	31,8	59,6	75,8	93,9	98,5	100,0	100,0
Факел	3,4	5,1	6,1	9,8	11,7	24,8	51,7	64,8	86,9	97,2	100,0	100,0
Рамонта	4,9	5,8	6,9	11,8	12,9	33,4	55,4	65,9	89,3	96,7	100,0	100,0
НІР ₀₅	0,7	1,3	1,2	2,1	1,8	1,9	2,4	2,7	1,1	0,7	-	-

Продовження табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
На фазу стеблуння (ВВСН 34–36)												
Ніка	6,1	9,3	10,8	18,8	32,9	52,2	75,3	85,0	93,6	98,9	100	100
Пригажунья	7,2	9,3	11,0	18,2	32,4	54,0	67,3	78,7	93,4	97,9	100	100
Сабіна	5,5	9,3	10,9	17,9	32,6	57,9	66,3	81,2	90,8	96,7	100,0	100,0
Івея	5,7	9,3	12,3	19,1	32,0	61,3	69,8	82,0	89,9	98,4	100,0	100,0
Сніжана	4,2	8,5	9,5	16,3	25,9	36,9	53,4	69,9	92,2	99,8	100,0	100,0
Тамбовчанка	4,1	10,2	8,1	15,5	20,6	25,1	44,2	84,9	96,4	100,0	100,0	100,0
Альфа	5,7	6,7	11,0	18,6	24,7	33,0	55,5	88,7	99,5	100,0	100,0	100,0
Ольга	3,3	6,3	7,7	13,6	22,5	32,7	53,2	66,5	97,4	99,7	100,0	100,0
Лінія ІРГСІ	4,6	8,7	8,7	14,5	24,2	34,6	75,6	83,9	97,8	100,0	100,0	100,0
Журавка	8,0	5,2	14,1	24,8	36,8	51,7	76,1	90,1	97,0	100,0	100,0	100,0
Райдуга	5,8	5,5	9,4	16,9	32,0	36,6	66,2	80,0	94,4	100,0	100,0	100,0
Либідь	9,7	11,5	15,9	27,5	39,9	54,6	77,7	94,9	99,6	100,0	100,0	100,0
Факел	6,0	9,1	10,4	17,7	22,6	42,6	67,4	81,2	92,2	100,0	100,0	100,0
Рамонта	8,7	12,5	11,8	21,5	25,1	57,9	72,9	83,4	95,6	100,0	100,0	100,0
<i>НІР₀₅</i>	<i>1,1</i>	<i>1,6</i>	<i>2,3</i>	<i>2,1</i>	<i>1,8</i>	<i>2,9</i>	<i>3,7</i>	<i>1,9</i>	<i>1,1</i>	<i>0,7</i>	-	-
На фазу бутонізації (ВВСН 50–52)												
Ніка	9,9	13	18,3	30,4	50,2	76,8	86,9	92,5	100,0	100,0	100,0	100,0
Пригажунья	11,7	12,9	18,7	29,5	49,3	79,4	77,7	85,7	100,0	100,0	100,0	100,0
Сабіна	8,9	11,8	18,4	28,9	49,7	85,1	76,6	88,4	100,0	100,0	100,0	100,0
Івея	9,2	14,2	20,9	30,9	48,8	90,2	80,6	92,3	100,0	100,0	100,0	100,0
Сніжана	6,8	9,4	16,1	26,3	39,5	54,2	61,7	86,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Тамбовчанка	6,6	9,2	13,8	25,1	31,4	36,9	51,0	92,4	100,0	100,0	100,0	100,0
Альфа	9,2	12,1	18,7	30,1	37,6	48,5	64,1	96,5	100,0	100,0	100,0	100,0
Ольга	5,4	8,9	13,1	22,0	34,2	48,2	61,4	78,4	100,0	100,0	100,0	100,0
Лінія ІРГСІ	7,5	10,7	14,1	23,6	39,4	56,4	63,2	91,8	100,0	100,0	100,0	100,0
Журавка	13,1	16	23,8	40,1	56,1	76,0	87,8	98,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Райдуга	9,4	12,7	16,0	27,3	48,7	53,8	76,4	95,1	100,0	100,0	100,0	100,0
Либідь	15,8	17,4	27,1	44,4	60,8	80,3	83,7	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Факел	9,8	12,8	17,6	28,6	34,4	62,6	77,8	93,4	100,0	100,0	100,0	100,0
Рамонта	14,2	14,7	20,1	34,8	38,3	85,2	84,2	92,7	100,0	100,0	100,0	100,0
<i>НІР₀₅</i>	<i>1,3</i>	<i>1,9</i>	<i>2,6</i>	<i>3,2</i>	<i>2,9</i>	<i>3,2</i>	<i>4,7</i>	<i>1,6</i>	-	-	-	-
На фазу цвітіння (ВВСН 65–67)												
Ніка	14,7	21,4	33,1	54,1	78,8	95,2	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Пригажунья	17,5	21,4	33,8	52,5	77,5	98,4	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Сабіна	13,3	19,6	33,3	51,5	88,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Івея	13,7	23,4	37,9	55,0	86,6	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Сніжана	10,1	15,5	29,1	46,9	82,0	96,2	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Тамбовчанка	9,9	14,1	25,0	44,7	89,4	95,7	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Альфа	13,7	20	33,8	53,6	83,1	92,8	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Ольга	8,1	14,8	23,6	39,2	73,7	89,7	96,7	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Лінія ІРГСІ	11,2	15,9	21,0	35,2	75,0	84,3	98,2	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Журавка	19,5	26,5	43,1	71,4	88,1	94,2	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Райдуга	14,0	21	28,9	48,6	76,5	96,7	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Либідь	23,6	28,7	48,9	79,1	95,5	99,6	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Факел	14,6	21,2	31,7	51,0	84,0	97,6	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Рамонта	21,2	24,4	36,2	62,0	80,1	95,8	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
<i>НІР₀₅</i>	<i>1,7</i>	<i>1,8</i>	<i>1,4</i>	<i>2,3</i>	<i>2,1</i>	<i>0,9</i>	-	-	-	-	-	-

Джерело сформовано на основі власних результатів досліджень.

Зокрема, ідентифікаційні генотипові особливості зростання інтенсивності феофітинізації хлорофілу за послідовного зростання температури проморожування від $-1,0^{\circ}\text{C}$ до $-12,0^{\circ}\text{C}$. При цьому сорти, селективний добір яких проводився в умовах більш вираженої стресовості вегетаційного періоду (табл. 1), зокрема сорти Тамбовчанка, Ольга та Лінія ІРГСІ продемонстрували за багаторічний цикл випробувань істотно вищий спектр толерантності до мінусових температур в інтервалі від ініціації реакції феофітинізації хлорофілу до біологічної межі летальності тканин листка.

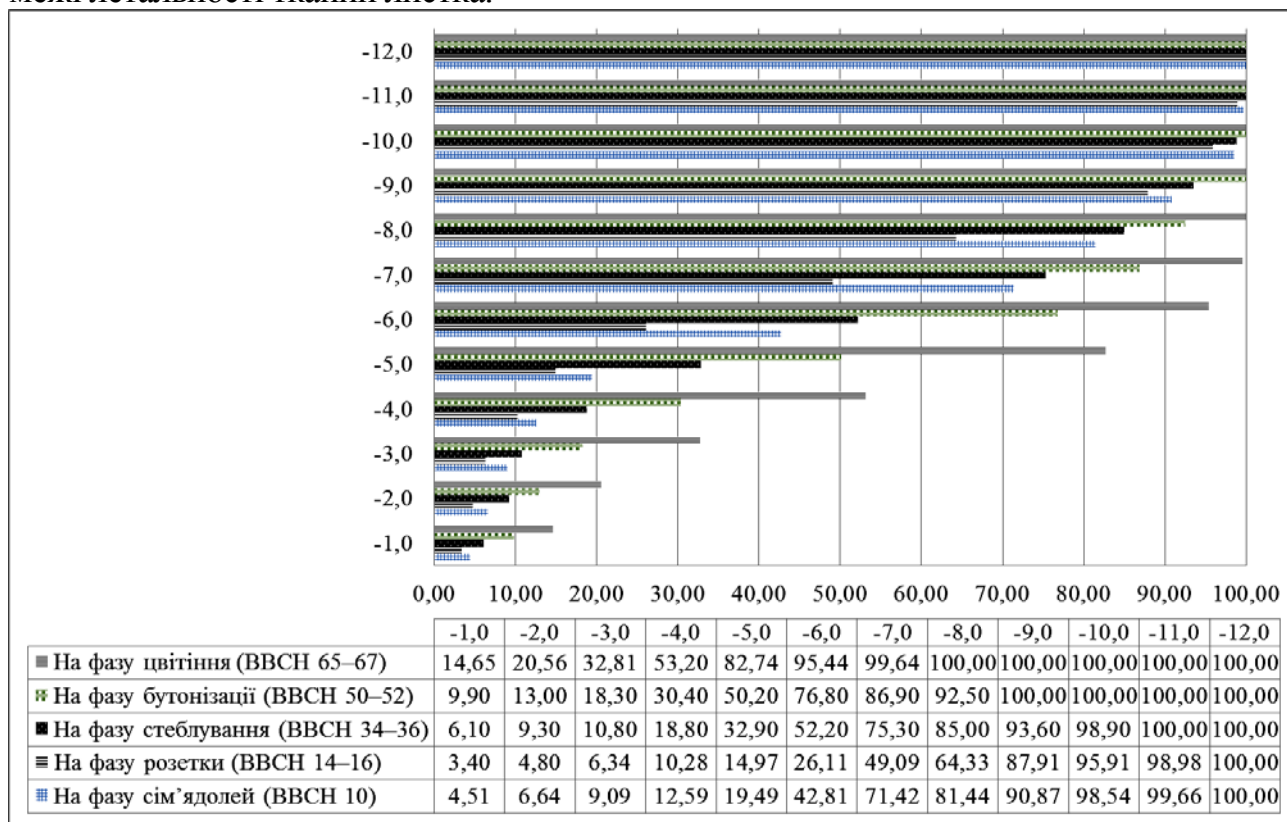


Рис. 2. Усереднена частка феофітинізації хлорофілу ділянок листків середнього ярусу (горизонтальна вісь графіка, %) для 14 сортів редьки олійної у розрізі базових фенологічних фаз залежно від варіантів температур (вертикальна вісь, $^{\circ}\text{C}$), середнє за 2015–2022 рр.

Джерело сформовано на основі власних результатів досліджень

При цьому, для сортів селекційний процес добору яких проводився в умовах менш виражених температурних ризиків та менших амплітуд впродовж вегетаційного періоду, до прикладу сорти Факел та Либідь – динаміка формування стрес-реакції мала менший інтервал для діапазону від початку феофітинізації хлорофілу у листках середнього ярусу до початку летальності такого процесу. Між вказаними групами сортів встановлена статистично значуща ($p < 0,05$) відмінність за відсотком феофітинізованих тканин листка у співвідношенні усередненого приросту показника на 3,8–18,8 % у послідовному аналізі при співставленні сортів крайньої межевої стрес-реакції серед вивчаємих генотипів Ольга та Либідь. Такі результати узгоджуються із загальними висновками ряду досліджень [4, 5] щодо предадаптивної реакції хрестоцвітих видів рослин на селекційно-генотиповий

тиск їх походження, акліматизації та реалізації послідуєчих механізмів адаптації.

Нами також встановлена, у системі багаторічних оцінок, різна стрес-чутливість листкового апарату сортів редьки олійної у процесі їх феностадійного розвитку. Так, для всіх генотипів на фазу розетки відмічена найвища стійкість до низьких температур за тією ж ознакою феофітинізації хлорофілу тканин листка (див. рис. 2, рис. 3).

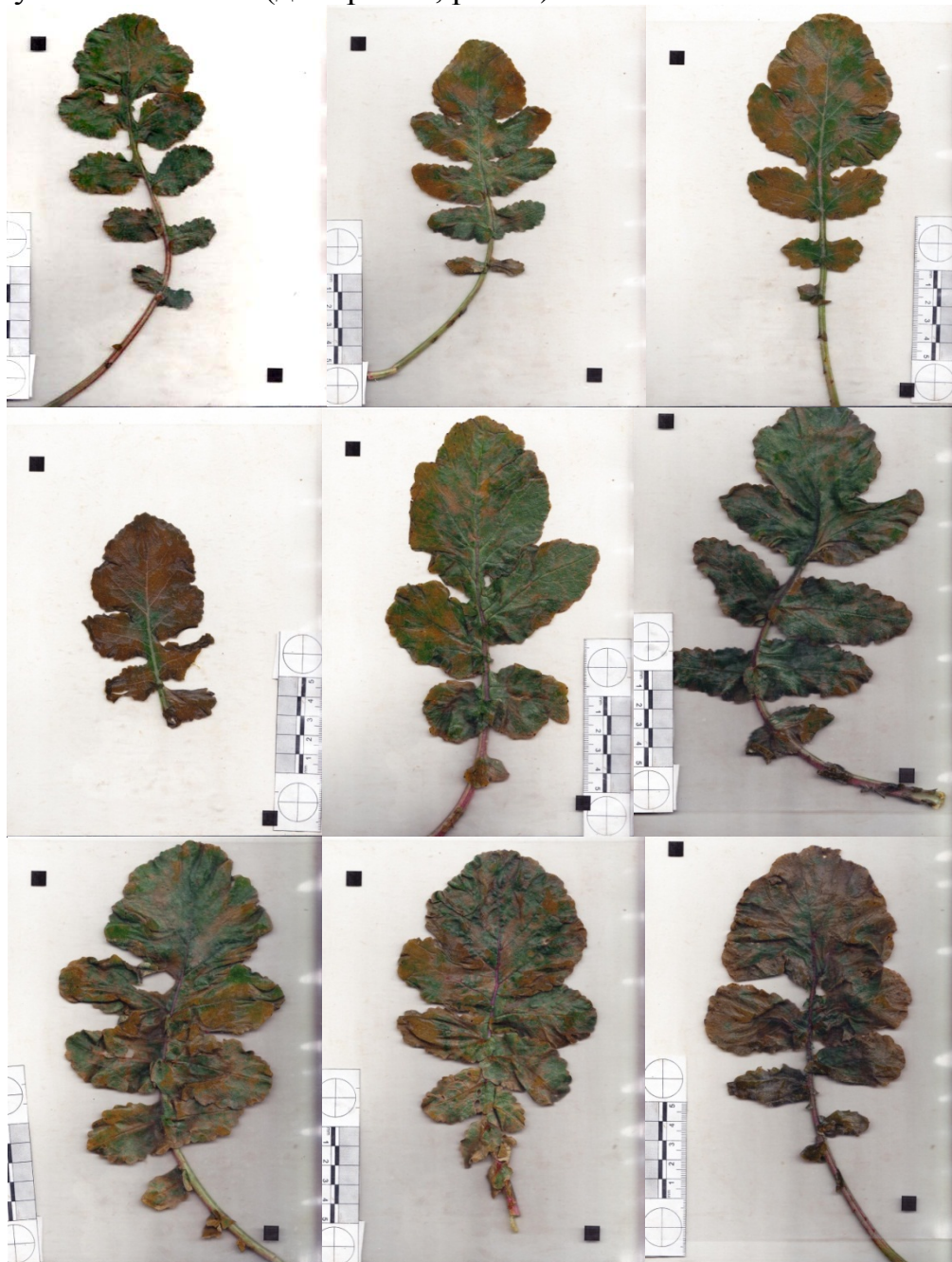


Рис. 3. Характер феофітинізації хлорофілу ділянок листків середнього ярусу редьки олійної сорту Журавка залежно від варіанту досліджень, 2021 р.(послідовно зліва-направо: фаза розетки 1–4 позиція – за температури $-1,0^{\circ}\text{C}$, $-4,0^{\circ}\text{C}$, $-8,0^{\circ}\text{C}$, $-12,0^{\circ}\text{C}$; фаза бутонізації 5–9 позиція – $-1,0^{\circ}\text{C}$, $-3,0^{\circ}\text{C}$, $-5,0^{\circ}\text{C}$, $-6,0^{\circ}\text{C}$, $-9,0^{\circ}\text{C}$.

Джерело сформовано на основі власних результатів досліджень

Слід зауважити, що відповідно до оцінки морозостійкості рослин ураження тканин листка 25 % і вище [7, 8] є пороговим з позиції впливу на реалізацію продуктивності відповідного генотипу за відновлення нормальних умов температурного режиму. З огляду на це, цього значення вивчаємі сорти редьки олійної досягають у фазі розетки за температури штучного проморожування при мінімальному рівні температури $-6,0^{\circ}\text{C}$. На фазу сім'ядолей цей діапазон був зміщений в інтервал $-5,0...-6,0^{\circ}\text{C}$. У послідуючі фази росту і розвитку від фази розетки до фази цвітіння чутливість до мінусових температур у всіх без виключення вивчаємих сортів редьки олійної зростала і досягала порогового рівня феофітинізації тканин листка у 25 % в інтервалі $-4,0...-5,0^{\circ}\text{C}$ на фазу стеблуння, $-4,0...-5,0^{\circ}\text{C}$ – на фазу бутонізації та $-2,0...-3,0^{\circ}\text{C}$ – на фазу цвітіння відповідно. Такі особливості стрес-реакції рослин наглядно підтверджено даними рис. 3 для сорту Журавка. Таким чином, для редьки олійної відмічено зниження порогу чутливості до низьких температур у ході зростання інтенсивності ростових процесів та поступового формування як вегетативних, так і генеративних частин рослини. При цьому, цей характер за подібності для всіх вивчаємих генотипів, мав певні відмінності. Так, для сортів із вищим рівнем температурної адаптивності, за вже згадуваних раніше умов місця зональної селекції чутливість до порогової феофітинізації тканин листка на рівні 25 %, мала тенденцію до пониження інтервалу на $1-3^{\circ}\text{C}$, залежно від сорту. Це в свою чергу підтверджує як висновки щодо генотипових адаптивних реакцій, які можна визначати у межах банку реакційних адаптивних пристосувань хрестоцвітих рослин [2, 4, 7], так і підтверджує можливість застосування підбору відповідного сортового матеріалу редьки олійної для врахування регіональних температурних ризиків ранньовесняного періоду характерних для Лісостепу Правобережного України у форматі ранніх строків сівби культури та тенденцій до весняних заморозків різної частоти та тривалості [9].

На підставі проведених досліджень з огляду на багаторічну систему оцінок визначено середньофенологічну стрес-реакцію сортів редьки олійної на мінусові температури (рис. 4). Встановлено, що для більшості досліджуваних сортів адаптивність стрес-реакцій на мінусові температури відмічена у інтервалі $-3,0...-5,0^{\circ}\text{C}$ із часткою фіофітинізації хлорофілу тканин листка на рівні $11,76 - 48,12\%$ залежно від сорту. При цьому рівень варіативності адаптивних температурних реакцій у межах генотипів редьки олійної має найвищу амплітуду коливань і інтервалі від $-5,0$ до $-8,0^{\circ}\text{C}$ що з огляду на твердження [2, 3] дає нам підстави оцінити редьку олійну як рослину із досить широкою нормою реакції по відношенню до холодо- та морозостійкості та дозволяє констатувати складний механізм формування даного комплексу ознак з огляду на можливу комбінаторику низькотемпературної стійкості та фізіологічного стану листка на фоні відповідного поєднання додаткових стрес факторів періоду вегетації, до прикладу дефіциту зволоження (атмосферний та ґрунтовий рівні). Для дослідження такого варіанту формування вивчаємих ознак ми проаналізували динаміку фіофітинізації хлорофілу листків у сорту редьки олійної Журавка для двох контрастних років із загального періоду досліджень – відповідно

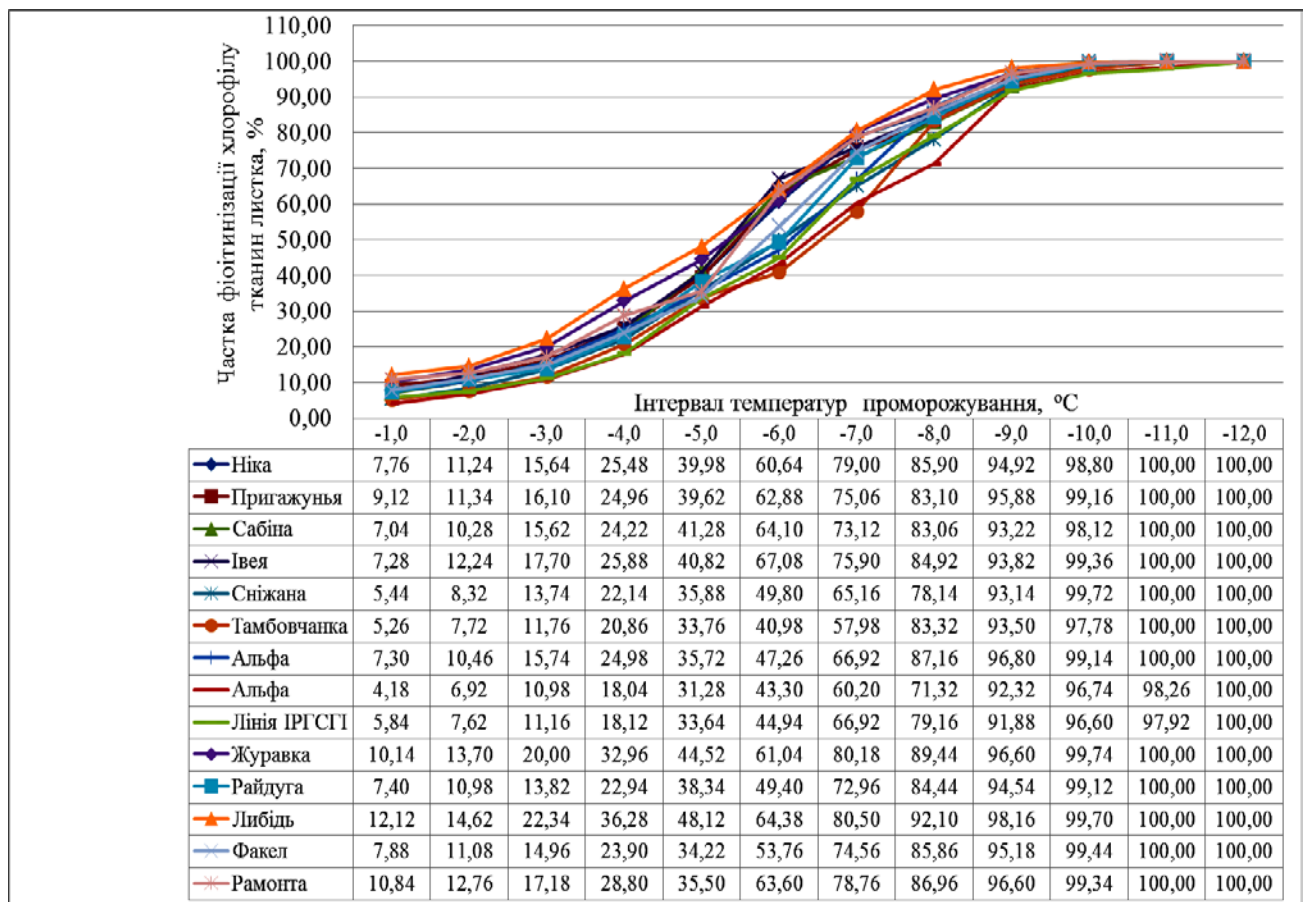


Рис. 3. Усереднена частка для 5 фенологічних стадій фіюфітінізації тканин листка сортів редьки олійної залежно від дії мінусових температур у режимі проморожування, середнє за 2015–2022 рр.

Джерело сформовано на основі власних результатів досліджень

до середнього за період вегетації ГТК (табл. 2) – 2015 рік із ГТК 0,461 та 2021 рік – із ГТК 1,118. Графічні результати такого співставлення (рис. 4) засвідчують істотність впливу фізіологічного стану листків зумовлену дією гідротермічного режиму за період вегетації рослин редьки олійної з огляду на оптимальність біологічних особливостей редьки олійної як виду [9] та відповідають загальним теоретичним уявленням про формування адаптивних стрес-реакцій для видів різного еколого-географічного походження [3].

Так, негативні чинники – у нашому випадку виражений дефіцит зволоження на фоні інтенсивного наростання середньодобових температур у період активного росту рослин редьки олійної як раз від фенофази розетки до фенофази цвітіння відмічений для умов вегетації 2015 року – зумовили зниження загальної стресостійкості рослин та підвищення тканинної чутливості до дії низьких (мінусових) температур.

Такі особливості знайшли своє відображення на представленому графіку співставлення. І, навпаки, оптимізація загальних ростових процесів та зниження загальної результативності стрес-чинників регіону у період активного росту і розвитку даного виду рослин (з огляду на дослідження [7, 8]) – зумовили підвищення стійкості редьки олійної сорту Журавка до дії низьких температур.

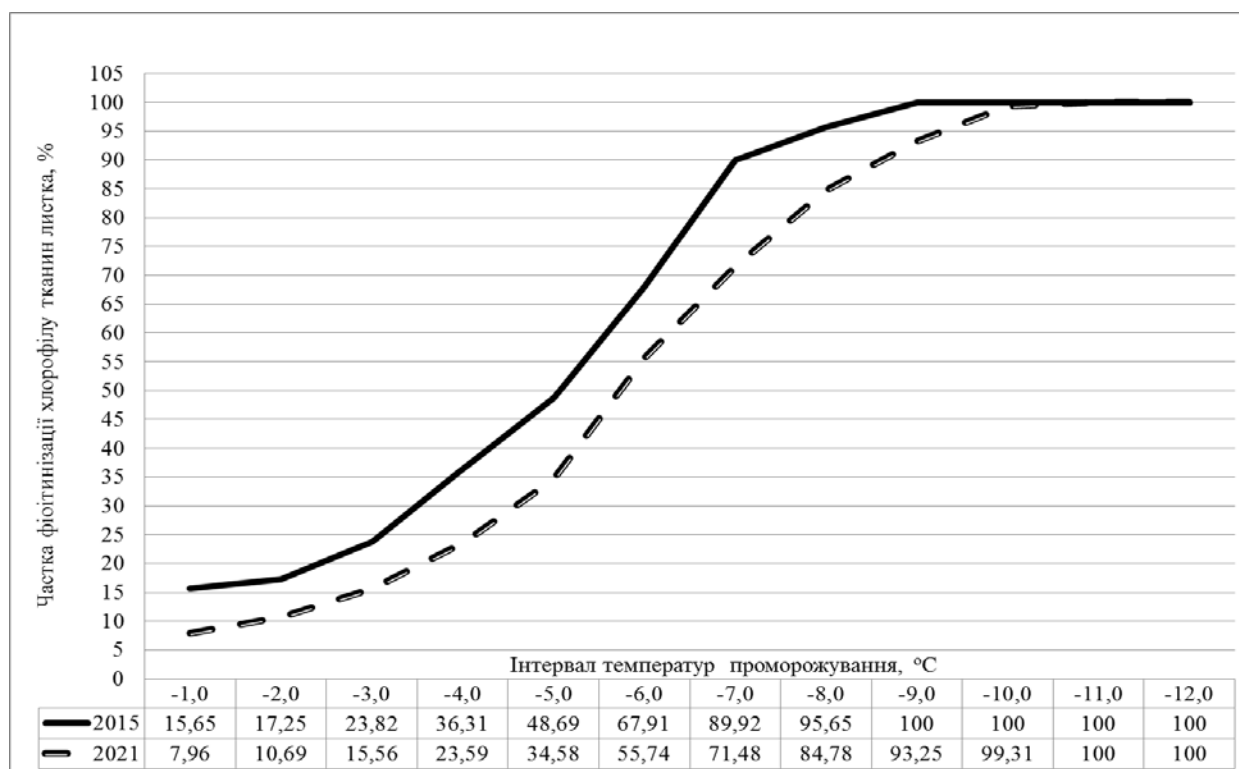


Рис. 4. Динаміка фіофітінзації тканин листка редьки олійної сорту Журавка залежно від дії мінусових температур у режимі проморожування (середнє для 5 фенологічних стадій), за 2015 та 2021 рр.

Джерело сформовано на основі власних результатів досліджень.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Таким чином, потенціал стійкості сортів редьки олійної до мінусових низьких температур у розрізі їх феностадій росту і розвитку можна оцінити як коливальний із максимумом стійкості на фенологічну фазу розетки та послідуячого динамічного характеру зниження показника до фази цвітіння. Усереднений інтервал стійкості сортів даної культури встановлено у фізіологічних межах $-3,0 \dots -6,0$ °С залежно від сорту. Динамічний ряд сортів редьки олійної у порядку зростання стійкості до мінусових температур, за середнім значенням для 5 облікових фенологічних фаз, слід розмістити у наступному порядку: Либідь – Журавка – Рамонта – Івея – Ніка – Пригажунья – Сабіна – Факел – Райдуга – Альфа – Сніжана – Тамбовчанка – Лінія ІРГСГІ – Ольга.

Визначену багаторічну класифікацію сортів редьки олійної можна ефективно використати у системі підбору сортів, їх зонування та у розробці різноваріантних технологій вирощування редьки олійної у зоні Лісостепу Правобережного України.

Перспективою подальших досліджень є вивчення біохімічних механізмів стійкості сортів редьки олійної до мінусових температур з оцінкою пролін-протекторної системи біохімічного обміну різних частин рослин та оцінки додаткових індикаторів фізіолого-біологічної природи для ідентифікації сортового складу редьки олійної та гарантування адаптивних технологічних підходів її вирощування в Україні з огляду на останні тенденції змін клімату.

Список використаної літератури

1. Мазур В.А., Дідур І.М., Панцирева Г.В. Обґрунтування адаптивної сортової технології вирощування зернобобових культур у Правобережному Лісостепу України. *Сільське господарство та лісівництво*. 2020. №3 (18). С. 5-16.
2. Scheepens J.F., Deng Y., Bossdorf O. Phenotypic plasticity in response to temperature fluctuations is genetically variable, and relates to climatic variability of origin, in *Arabidopsis thaliana*. *AoB PLANTS*. 2018. Vol. 10. ply043.
3. Zhao J., Lu Z., Wang L., Jin B. Plant responses to heat stress: physiology, transcription, noncoding RNAs, and epigenetics. *International journal of molecular sciences*. 2020. Vol. 22. P. 117.
4. Tang M., Xu L., Wang Y., Cheng W., Luo X., Xie Y., Fan L., Liu L. Genome-wide characterization and evolutionary analysis of heat shock transcription factors (HSFs) to reveal their potential role under abiotic stresses in radish (*Raphanus sativus* L.). *BMC genomics*. 2019. Vol. 20. P. 772.
5. Chaudhry S., Sidhu G. Climate change regulated abiotic stress mechanisms in plants: a comprehensive review. *Plant cell reports*. 2022. Vol. 41. P. 1-31.
6. Wani M.A., Qazi H.A., Yaqoob U., Lone S.A., John R. Response of radish genotypes to short term cold stress in relation to biochemical changes and antioxidant activity. *International Journal of Current Agricultural Sciences*. 2017. Vol. 7. P. 222-228.
7. Kaur I. Genotype and environment interaction in radish (*Raphanus sativus* L.) for growth, yield and quality traits. M. Sc. Thesis, PAU, Ludhiana. 2016. 217 p.
8. Li C., Mao B., Wang K., Xu L., Fan L., Wang Y., Li Y., Ma Y., Wang L., Liu L., RsERF40 contributes to cold stress tolerance and cell expansion of taproot in radish (*Raphanus sativus* L.). *Horticulture Research*. 2023. Vol. 10. Is. 3. uhad013.
9. Цицюра Я. Г., Цицюра Т. В. Редька олійна. Стратегія використання та вирощування. Монографія. Вінниця: ТОВ "Нілан ЛТД", 2015. 624 с.
10. Сайко В.Ф. Особливості проведення досліджень з хрестоцвітими олійними культурами. Київ: Інститут сільського господарства НААН. 2011. 76 с.
11. CPVO Protocol for tests on distinctness, uniformity and stability *Raphanus sativus* L. var *oleiformis* Pers. Fodder radish (CPVO-TP/178/1). Geneva. 2017. 21 p.
12. Evarte-Bundere G., Evarts-Bunders P. Using of the Hydrothermal coefficient (HTC) for interpretation of distribution of non-native tree species in Latvia on example of cultivated species of genus *Tilia*. *Acta Biologica Universitatis Daugavpiliensis*. 2012. Vol. 12. P. 135-148.
13. Бублик М.О., Патика Т.І., Китаєв, О.І. Лабораторні та польові методи для визначення морозостійкості плодових порід і культур (методичні рекомендації). Київ: НААН України, Інститут садівництва НААН. 2013. 36 с.
14. Цицюра Я.Г. Оцінка жаростійкості редьки олійної лабораторними методами. *Сільське господарство та лісівництво*. 2020. Вип. 3 (18). С. 42-58.
15. Барановський Д.І., Гетманець О.М., Хохлов А.М. Біометрія в програмному середовищі MS Excel: навчальний посібник. Х. : СПД Бровін О. В., 2017. 90 с.

Список використаної літератури у транслітерації / References

1. Mazur V.A., Didur I.M., Pansyreva H.V. (2020). Obgruntuvannia adaptivnoi sortovoi tekhnologii vyroshchuvannia zernobobovykh kultur u Pravoberezhnomu Lisostepu Ukrainy [*Substantiation of adaptive varietal technology for growing legumes in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine*]. *Sil'ske hospodarstvo ta lisivnytstvo – Agriculture and forestry*. № 3 (18). 5-16 [in Ukrainian].
2. Scheepens J.F., Deng Y., Bossdorf O. (2018). Phenotypic plasticity in response to temperature fluctuations is genetically variable, and relates to climatic variability of origin, in *Arabidopsis thaliana*. *AoB PLANTS*. Vol. 10, ply043 [in English].
3. Zhao J., Lu Z., Wang L., Jin B. (2020). Plant responses to heat stress: physiology, transcription, noncoding RNAs, and epigenetics. *International journal of molecular sciences*. Vol. 22. P. 117 [in English].
4. Tang M., Xu L., Wang Y., Cheng W., Luo X., Xie Y., Fan L., Liu L. (2019). Genome-wide characterization and evolutionary analysis of heat shock transcription factors (HSFs) to reveal their potential role under abiotic stresses in radish (*Raphanus sativus* L.). *BMC genomics*. Vol. 20. P. 772 [in English].
5. Chaudhry S., Sidhu G. (2022). Climate change regulated abiotic stress mechanisms in plants: a comprehensive review. *Plant cell reports*. Vol. 41. P. 1-31 [in English].
6. Wani M.A., Qazi H.A., Yaqoob U., Lone S.A., John R. (2017). Response of radish genotypes to short term cold stress in relation to biochemical changes and antioxidant activity. *International Journal of Current Agricultural Sciences*. Vol. 7. P. 222-228 [in English].
7. Kaur I. (2016). Genotype and environment interaction in radish (*Raphanus sativus* L.) for growth, yield and quality traits. M. Sc. Thesis, PAU, Ludhiana. 217 p. [in English].
8. Li C., Mao B., Wang K., Xu L., Fan L., Wang Y., Li Y., Ma Y., Wang L., Liu L. (2023). RsERF40 contributes to cold stress tolerance and cell expansion of taproot in radish (*Raphanus sativus* L.). *Horticulture Research*. Vol. 10. Is. 3. uhad013 [in English].
9. Tsytsiura Ya.H., Tsytsiura T.V. (2015). Redka oliina. Stratehiia vykorystannia ta vyroshchuvannia [*Oilseed radish. The strategy of use and cultivation. Monograph*]. Monohrafiia. Vinnytsia: TOV "Nilan LTD". 624. [in Ukrainian].
10. Saiko V.F. (2011). Osoblyvosti provedennia doslidzhen z khrestotsvitymy oliinymy kulturamy [*Features of research with cruciferous oilseeds*]. Kyiv: Instytut silskoho hospodarstva NAAN. 76. [in Ukrainian].
11. CPVO (2017). Protocol for tests on distinctness, uniformity and stability *Raphanus sativus* L. var *oleiformis* Pers. Fodder radish (CPVO-TP/178/1). Geneva. 21 p. [in English].
12. Evarte-Bundere G., Evarts-Bunders P. (2012). Using of the Hydrothermal coefficient (HTC) for interpretation of distribution of non-native tree species in Latvia on example of cultivated species of genus *Tilia*. *Acta Biologica Universitatis Daugavpiliensis*. Vol. 12. P. 135-148 [in English].
13. Bublyk M.O., Patyka T.I., Kytaiev, O.I. (2013). Laboratorni ta polovi metody dlia vyznachennia morozostiikosti plodovykh porid i kultur (metodychni rekomendatsii)

[Laboratory and field methods for determining frost resistance of fruit breeds and crops (guidelines)]. Kyiv: NAAN Ukrainy, Instytut sadivnytstva NAAN. 36. [in Ukrainian].

14. Tsytsiura Ya.H. (2020). Otsinka zharostiikosti redky oliinoi laboratornymy metodamy [Assessment of heat resistance of oilseed radish by laboratory methods]. Silske hospodarstvo ta lisivnytstvo – Agriculture and forestry. Issue. 3 (18). 42-58 [in Ukrainian].

15. Baranovskyi D.I., Hetmanets O.M., Khokhlov A.M. (2017). Biometriia v prohramnomu seredovyshchi MS Excel: navchalnyi posibnyk [Biometrics in the MS Excel software environment: a tutorial]. Kh.: SPD Brovin O.V. 90. [in Ukrainian].

ANNOTATION

STUDY OF STRESS RESISTANCE OF OILSEED RADISH VARIETIES TO SUBZERO TEMPERATURES BY CHLOROPHYLL PHEOPHYTINIZATION

The article highlights the results of studying the peculiarities of the formation of stress resistance of 14 oilseed radish varieties of different ecological and geographical origin to subzero temperatures in the context of 5 basic phenological stages (cotyledon phase (BBCH 10), rosette phase (BBCH 14–16), stemming phase (BBCH 34–36), budding phase (BBCH 50–52) and flowering phase (BBCH 65–67)) with a temperature range of -1.0... -12.0 °C with an experimental step of 1.0 °C decrease based on the tested method of chlorophyll phytopytinization after the physiologically appropriate period of freezing of the calves. The peculiarities of stress reactions in terms of the proportion of phytopytinized leaf surface were investigated based on the processing of scanned images of leaf blades taken from living plants at the appropriate stages of their growth and development. The physiological aspects and literature sources on the assessment of temperature tolerance of cruciferous plant species, in particular radish subspecies, were analyzed and generalizations were made about the adaptive potential of oilseed radish as a species for the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine.

On the basis of a long-term period of research (2015–2022), the optimal physiological interval of the reaction of different genotypes of oil radish to subzero temperatures was estimated and the most stable phenological phases in relation to the frost resistance of plants were determined by the indicator short-term express reaction of leaf tissues based on the results of their freezing under controlled conditions.

A dynamic series of oilseed radish varieties was determined in the direction of increasing the genotype stress resistance to subzero temperatures for the averaged values in the interval from the cotyledon phase to the flowering phase: Lybid, Zhuravka, Ramonta, Ivea, Nika, Prygazhunya, Sabina, Fakel, Rainbow, Alpha, Snizhana, Tambovchanka, IRGSGI Line, Olga.

The influence of the total stress of oilseed radish plants based on the value of the hydrothermal coefficient (HTC) during the growing season on the determination of stress resistance to low temperatures was assessed and it was concluded that the combinatorial nature of the formation of pre-adaptive reactions of oilseed radish plants to low temperatures. At the same time, the nature of dynamic changes in the curve of phytopytinization of leaf tissue chlorophyll was determined, which can be used to indirectly analyze deviations in resistance to subzero temperatures during critical periods of growth and development of oilseed radish plants.

Additionally, the dynamics of the formation of the leaf chlorophyll phytopytinization index in 14 oilseed radish varieties was evaluated with the detailing of this process at different phenostages of growth and development, and the level of lethality of this process at the corresponding value of the applied freezing temperatures was noted. The article formulates the prospects for further research in the field of optimization of diagnostics of oilseed radish plants stress resistance to subzero temperatures based on the new proline biochemical method of identification at the tissue level.

Keywords: oilseed radish, variety, stress tolerance, frost resistance, adaptation.

Table 3. Fig. 4. Lit. 15.

Інформація про автора

Цицюра Ярослав Григорович – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри землеробства, ґрунтознавства та агрохімії ВНАУ (21008, м. Вінниця, вул. Сонячна 5/42, e-mail: yaroslavtsytsyura@ukr.net, 0675854008).

Tsytsiura Yaroslav Grigoryevich – Candidate of Agricultural Sciences (PhD), Associate Professor of the Department of Soil Management, Soil Science and Agrochemistry, Vinnytsia National Agrarian University (21008, Vinnytsia town, Soniachna st., build 5/42, e-mail: yaroslavtsytsyura@ukr.net, 0675854008).