

УДК 633.358:631.531.02:581.19

Фізіологічні та біохімічні зміни насіння сортів гороху посівного за різної тривалості зберігання та ступеня механічного пошкодження

 Д. І. Кам'янченко

Уманський національний університет, вул. Інститутська, м. Умань, Черкаська обл., 20301, Україна,
e-mail: lidiyakononenko@ukr.net

Мета. Установити закономірності фізіолого-біохімічних трансформацій у насінні гороху посівного (*Pisum sativum* L.) залежно від тривалості зберігання та ступеня механічного пошкодження, а також оцінити сортові особливості стійкості до процесів біохімічного старіння. **Методи.** Дослідження проводили впродовж 2022–2026 рр. на базі Уманського національного університету. Об'єктом дослідження були сорти гороху української селекції 'Царевич', 'Оплот' та 'Отаман'. Експеримент виконували за трифакторною схемою: фактор А – сорт; фактор В – тривалість зберігання (1, 3 і 5 років); фактор С – ступінь механічного пошкодження (ціле насіння, мікротравми, макротравми). Життєздатність насіння визначали тетразолним методом, інтенсивність дихання – за кількістю виділеного CO₂, активність каталази й пероксидази – газометричним та колориметричним методами. Рівень перекисного окиснення ліпідів оцінювали за вмістом ТБК-активних продуктів. Статистичну обробку результатів здійснювали методом дисперсійного аналізу. **Результати.** Установлено, що тривале зберігання та механічне травмування насіння мають виражений деструктивний вплив на його фізіолого-біохімічний стан. У контрольному варіанті найвищу життєздатність продемонстрував сорт 'Царевич' – 94,8 %, тоді як поєднання макротравм і 5-річного зберігання зумовило її зниження до 54,6 %. У сортів 'Оплот' та 'Отаман' аналогічні показники становили відповідно 50,8 і 46,2 %. Виявлено закономірне пригнічення антиоксидантної системи: активність пероксидази та каталази у найбільш стресових варіантах зменшувалася у 1,8–2,5 раза порівняно з контролем. Найнижчу активність ферментів зафіксовано у сорту 'Отаман' за поєднання 5-річного зберігання та макротравм. Доведено, що механічні пошкодження активують метаболічні процеси у насінні: інтенсивність дихання у травмованих зразках зростала у 2,4–2,7 раза та досягала 3,08 мг CO₂/100 г сухої речовини за годину. Одночасно встановлено інтенсивне накопичення продуктів перекисного окиснення ліпідів, рівень яких у критичних варіантах зростав у 4,0–4,3 раза порівняно з контролем. Виявлено тісний зв'язок між зниженням активності антиоксидантних ферментів, посиленням окиснювальних процесів і втратою життєздатності насіння. **Висновки.** Найбільш критичним чинником деградації посівних якостей насіння є поєднання макротравм і тривалого зберігання. Механічне пошкодження насіння прискорює розвиток окиснювального стресу, дестабілізує мембранні структури та інтенсифікує процеси біохімічного старіння. Сорт 'Царевич' характеризувався найвищою біологічною стійкістю та здатністю до збереження життєздатності в умовах тривалого зберігання. Для забезпечення високих посівних якостей насіння необхідно мінімізувати його травмування під час збирання та доробки, а термін використання страхових фондів травмованого насіння не повинен перевищувати трьох років.

Ключові слова: травмування; життєздатність; пероксидаза; каталаза; інтенсивність дихання.

Вступ

Горох посівний (*Pisum sativum* L.) займає стратегічне місце в агропромисловому комплексі України як цінне джерело рослинного білка та вагома експортно орієнтована культура. Мазур В. А. зі співавторами [2] наголошують на необхідності впровадження інноваційних підходів до технологій зберігання зернобобових культур для повнішої реалізації їхнього біологічного потенціалу.

Як цитувати: Кам'янченко Д. І. Фізіологічні та біохімічні зміни насіння сортів гороху посівного за різної тривалості зберігання та ступеня механічного пошкодження. *Новітні агротехнології*. 2026. Т. 14, № 1. <https://doi.org/10.47414/na.14.1.2026.360985>



© The Author(s) 2026. Published by Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the NAAS of Ukraine. This is an open access article distributed under the terms of the license CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Водночас суттєвим обмежувальним чинником є генетично зумовлена схильність насіння гороху до швидкої втрати життєздатності [3]. Стригун В. та Чабан А. [4] підкреслюють важливість проведення відновлювальних посівів для підтримання високої якості насіннєвого матеріалу. Однак однією з найгостріших проблем у технології вирощування та зберігання культури залишається висока механічна вразливість насіння.

У сучасних наукових дискусіях довговічність насіння розглядається як складний багатофакторний процес, що охоплює фізіологічні, біохімічні та молекулярні механізми. Gianella та ін. [5] детально характеризують фізіолого-молекулярні аспекти збереження життєздатності насіння та відзначають значну внутрішньовидову варіабельність між різними лініями гороху. Інші дослідники [6] підтверджують, що морфологічні й хімічні зміни в насінні безпосередньо залежать від умов і тривалості експозиції під час зберігання або модельованого старіння. Зокрема, Filippova та ін. [7] встановили, що за умов прискореного старіння відбувається деградація ядерної ДНК, яка має незворотний характер і є одним із ключових проявів деструктивних процесів у насінні.

Деякі дослідники наголошують, що лише комплексний підхід, який охоплює всі етапи технологічного циклу – від вирощування культури до післязбиральної доробки та зберігання насіння – здатний забезпечити стабільний розвиток виробництва гороху [8]. Важливе значення при цьому мають умови та тривалість зберігання насіннєвого матеріалу. Зокрема, W. Suathong та ін. [9] встановили суттєвий вплив температурних режимів на біохімічну стабільність насіння та збереження його якісних показників.

Механічні аспекти захисту насіння детально досліджували J. Lazarević та ін. [10], які встановили, що мікроморфологічні особливості насіннєвої оболонки та наявність мікротріщин безпосередньо впливають на інтенсивність дихання й ступінь пошкодження зародка. Водночас стійкість насіння до механічних ушкоджень може бути підвищена ще в період вегетації рослин завдяки збалансованому мінеральному живленню [11].

Проблему збереження якості та життєздатності насіння за нерегульованих температурних умов висвітлено у праці [12]. Значну увагу дослідники приділяють також удосконаленню технологічних рішень у процесі зберігання. Зокрема, M. Ejeta та співавтори [13] підкреслюють важливість правильного вибору пакувальних матеріалів для підтримання стабільності насіннєвого матеріалу, тоді як R. K. Anurag та ін. [14] обґрунтовують ефективність використання модифікованого газового середовища для стримування окиснювальних процесів і сповільнення старіння насіння.

Підсумовуючи результати аналізу літературних джерел, слід зазначити, що одним із найперспективніших напрямів розвитку сучасного насінництва зернобобових культур є створення сортів із підвищеною адаптивністю до стресових чинників, зокрема посухи та механічних впливів [15].

Мета досліджень – установити закономірності фізіолого-біохімічних трансформацій у насінні різних сортів гороху посівного залежно від тривалості зберігання та ступеня механічного пошкодження.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводили на базі Уманського національного університету впродовж 2022–2026 рр. Об'єктом дослідження слугував насіннєвий матеріал трьох сортів гороху посівного (*Pisum sativum* L.) української селекції: 'Царевич', 'Оплот' та 'Отаман'. Усі досліджувані зразки належать до сучасних безлисточкових (вусатих) морфотипів. Редукція листових пластинок у таких генотипів сприяє формуванню більш стійкого до вилягання агрофітоценозу, покращує аерацію посівів та забезпечує можливість прямого комбайнування під час збирання врожаю.

Морфологічно рослини характеризуються середньою висотою стебла (55–80 см) без схильності до фасціації. Закладання генеративної сфери відбувається з 14–16 вузла; суцвіття переважно двоквіткові з білими віночками. Плоди представлені середніми за розміром луцильними бобами, що містять 5–7 гладеньких насінин округло-сплюснутої форми жовтуватого або рожевого забарвлення.

'Царевич' – середньостиглий генотип із тривалістю вегетаційного періоду 79–85 діб. Сорт характеризується високою посухостійкістю та потенційною врожайністю до 5,0 т/га. Маса 1000 насінин становить 260–280 г, вміст сирого білка – 20–22 %.

'Оплот' вирізняється високою екологічною пластичністю та придатністю до вирощування в різних ґрунтово-кліматичних зонах України. Період від сходів до повної стиглості становить 80–90 діб. Показники маси 1000 насінин (260–280 г) і вмісту білка є аналогічними сорту 'Царевич', проте сорт характеризується стабільнішою врожайністю за несприятливих умов (2,7–4,0 т/га у Лісостепу).

‘Отаман’ є найбільш скоростиглим серед досліджуваних зразків (77–80 діб). Це напівкарликовий вусатий морфотип із високою стійкістю до осипання насіння. Маса 1000 насінин становить 230–250 г при збереженні стандартного рівня білковості (до 22 %). Сорт орієнтований на зернове використання та відзначається високою технологічністю в умовах механізованого вирощування.

Вибір зазначених сортів зумовлений їхньою високою адаптивністю та належністю до сучасних агроморфотипів, що дає змогу об’єктивно оцінити зміни біохімічних і посівних якостей насіння в процесі тривалого зберігання.

Дослідження виконували за трифакторною схемою:

Фактор А (сорт): ‘Царевич’, ‘Оплот’, ‘Отаман’.

Фактор В (тривалість зберігання): 1 рік (контроль), 3 роки та 5 років.

Фактор С (ступінь механічного пошкодження): ціле насіння (без видимих пошкоджень); мікротравми (тріщини оболонки, виявлені методом люмінесцентного аналізу або йодного фарбування); макротравми (бите насіння з пошкодженням сім’ядоль або зародка).

Життєздатність насіння визначали тетразолним методом (ДСТУ 4138-2002) шляхом фарбування зародків 1 %-им розчином 2,3,5-трифенілтетразолію хлориду після попередньої підготовки насіння [16]. Інтенсивність дихання визначали замкнутим методом за Грюнером за кількістю виділеного CO₂, результати виражали в мг CO₂ на 100 г сухої речовини за годину [17]. Активність каталази встановлювали газометричним методом за об’ємом кисню, що виділявся при розщепленні пероксиду водню рослинною витяжкою [18]. Активність пероксидази визначали за методикою Бояркіна за швидкістю окиснення бензидину в присутності H₂O₂ [19]. Рівень пероксидного окиснення ліпідів оцінювали за вмістом ТБК-активних продуктів [20, 21].

Математичну обробку результатів здійснювали методом дисперсійного аналізу із застосуванням програмного забезпечення Statistica 10.0 та Microsoft Excel. Достовірність різниці між варіантами оцінювали за критерієм найменшої істотної різниці (NIP_{0,05}) [22].

Результати досліджень

Показник життєздатності після інфікування відображає імунний статус насіння та його здатність протистояти агресивному впливу мікрофлори. У контрольному варіанті (ціле насіння, 1 рік зберігання) сорт ‘Царевич’ продемонстрував найвищий рівень біологічної стійкості – 94,8 %, що на 2,2–4,4 % перевищує показники інших досліджуваних сортів (табл. 1).

Таблиця 1

Частка життєздатного насіння гороху посівного після інфікування залежно від тривалості зберігання та ступеня травмування, %

Сорт (А)	Тривалість зберігання (В)	Ціле насіння	Мікротравми	Макротравми
‘Царевич’	1 рік	94,8	88,2	75,4
	3 роки	87,5	79,4	65,8
	5 років	78,2	68,5	54,6
‘Оплот’	1 рік	92,6	85,4	72,1
	3 роки	84,2	76,8	62,4
	5 років	75,4	64,2	50,8
‘Отаман’	1 рік	90,4	83,1	69,5
	3 роки	82,1	74,2	59,2
	5 років	72,5	60,8	46,2
NIP _{0,05}	Фактор А (сорт)		2,2	
	Фактор В (зберігання)		2,8	
	Фактор С (травми)		2,5	
	Взаємодія АВС		4,2	

Експериментально встановлено, що наявність макротравм суттєво знижує резистентність насіння до інфекційного ураження: уже на першому році зберігання частка життєздатного насіння зменшується на 19,4–20,9 % порівняно з цілим насінням, що пов’язано з глибоким проникненням патогенів у зародкову зону. Отримані результати свідчать, що впродовж 5 років зберігання спостерігається поступове, але закономірне зниження імунного потенціалу насіння; навіть у неушкодженого насіння сорту ‘Отаман’ життєздатність знижується до 72,5 % під впливом внутрішньої інфекції.

Важливо зазначити, що поєднання макротравм і тривалого (5-річного) зберігання має критичний характер для збереження посівних якостей: у сорту ‘Отаман’ життєздатність у цьому варіанті знижується до 46,2 %, що фактично свідчить про втрату господарської придатності партії.

Сорт 'Царевич' демонструє вищу здатність до локалізації інфекційних процесів, зберігаючи життєздатність на рівні 54,6 % у найбільш стресовому варіанті, що достовірно перевищує показники інших генотипів.

Отримані дані узгоджуються з попередніми спостереженнями щодо ролі антиоксидантної системи: підвищена частка загиблого насіння у травмованих варіантах корелює зі зниженим рівнем антиоксидантного захисту, що обмежує здатність клітин протидіяти токсичному впливу мікрофлори.

Аналіз активності пероксидази в насінні гороху дозволив оцінити стан антиоксидантного захисту різних генотипів та характер його змін під впливом тривалості зберігання і механічного пошкодження. Пероксидаза, як ключовий фермент системи детоксикації токсичних продуктів метаболізму, демонструє загальну тенденцію до зниження активності в усіх дослідних варіантах, що свідчить про поступове виснаження адаптивного потенціалу насіння.

Встановлено, що у контролі (ціле насіння після одного року зберігання) сорт 'Царевич' характеризувався максимальною ферментативною активністю – 56,4 ум. од. Порівняльний аналіз показав, що цей генотип має найвищу біохімічну стабільність. Сорти 'Оплот' (53,8 ум. од.) та 'Отаман' (51,5 ум. од.) за аналогічних умов поступалися контролю, що підтверджується статистично ($HP_{0,05} = 1,8$ за фактором А).

Фактор тривалості зберігання (В) виявився потужним дестабілізуючим чинником ферментативної системи. У цілому насінні сорту 'Царевич' активність пероксидази знизилася з 56,4 ум. од. (1 рік) до 39,2 ум. од. (5 років), що становить 30,5 %. Найбільш виражене зниження зафіксовано у сорту 'Отаман', де після 5 років зберігання показник становив 32,8 ум. од., що свідчить про відносно нижчу генетично зумовлену довговічність цього генотипу.

Механічне пошкодження (фактор С) істотно прискорює інактивацію пероксидази. Мікротравми знижують активність ферменту в середньому на 9–15 % порівняно з цілим насінням, тоді як макротравми спричиняють різке падіння антиоксидантного потенціалу. Так, у сорту 'Царевич' за 1 рік зберігання активність пероксидази за макротравм становила 44,8 ум. од., що на 20,6 % нижче за контроль (56,4 ум. од.) (табл. 2).

Найбільш критичне пригнічення антиоксидантної системи виявлено за поєднання тривалого зберігання та механічного пошкодження (взаємодія факторів А × В × С). У варіанті сорту 'Отаман' (5 років, макротравми) активність пероксидази знизилася до мінімального значення – 20,2 ум. од., що у 2,8 рази менше порівняно з контролем. Такий рівень активності свідчить про практичну неспроможність насіння протидіяти вільнорадикальним процесам, що узгоджується зі зниженням його життєздатності.

Статистична обґрунтованість результатів підтверджується значеннями $HP_{0,05}$, де вплив фактора зберігання (2,2) та механічного пошкодження (1,6) перевищує похибку досліду, що вказує на їх визначальну роль у процесах біохімічного старіння насіння гороху (табл. 2).

Таблиця 2

Активність пероксидази в насінні гороху посівного залежно від тривалості зберігання та травмованості, ум. од.

Сорт (А)	Тривалість зберігання (В)	Ціле насіння	Мікротравми	Макротравми
'Царевич'	1 рік	56,4 К	51,2	44,8
	3 роки	48,5	42,9	35,6
	5 років	39,2	33,5	26,4
'Оплот'	1 рік	53,8	48,5	41,2
	3 роки	45,6	39,8	32,4
	5 років	36,1	30,2	23,5
'Отаман'	1 рік	51,5	46,2	39,5
	3 роки	42,4	36,5	29,1
	5 років	32,8	27,1	20,2
$HP_{0,05}$	Фактор А (сорт)		1,8	
	Фактор В (зберігання)		2,2	
	Фактор С (травми)		1,6	
	Взаємодія АВС		3,4	

Результати досліджень свідчать, що активність каталази має чітку тенденцію до зниження під впливом досліджуваних чинників. У контрольному варіанті найвищий рівень ферментативної активності зафіксовано у сорту 'Царевич' – 68,5 ум. од., тоді як сорти 'Оплот' та 'Отаман' поступалися йому на 2,6–4,8 ум. од. відповідно (табл. 3).

Встановлено суттєвий вплив тривалості зберігання на стан антиоксидантної системи насіння. За умов 5-річного зберігання активність каталази у цілому насіння сорту 'Царевич' знизилася до 49,7 ум. од., що на 27,4 % менше від початкового рівня.

Механічне пошкодження насіння виступає вираженим стрес-фактором, який спричиняє втрату ферментативного потенціалу вже на ранніх етапах зберігання. Зокрема, у варіанті з макротравмами вже на першому році зберігання активність каталази зменшується на 12,6–13,0 ум. од. залежно від сорту порівняно з цілим насінням (табл. 3).

Таблиця 3

Активність каталази в насінні гороху посівного залежно від тривалості зберігання та травмованості, ум. од.

Сорт (А)	Тривалість зберігання (В)	Ціле насіння	Мікротравми	Макротравми
'Царевич'	1 рік	68,5	63,1	55,9
	3 роки	59,2	53,7	46,2
	5 років	49,7	43,9	36,1
'Оплот'	1 рік	65,9	60,4	53,1
	3 роки	56,4	50,8	43,2
	5 років	46,8	40,9	33,0
'Отаман'	1 рік	63,7	58,1	50,7
	3 роки	54,1	48,3	40,6
	5 років	44,4	38,4	30,3
НІР _{0,05}	Фактор А (сорт)		2,1	
	Фактор В (зберігання)		2,6	
	Фактор С (травми)		1,9	
	Взаємодія АВС		3,9	

Найнижчий показник у всьому експерименті зафіксовано у сорту 'Отаман', де за поєднання макротравм і 5-річного зберігання активність каталази знизилася до 30,3 ум. од., що на 52,4 % менше порівняно з контролем.

Статистично значуща взаємодія факторів А × В × С (НІР_{0,05} = 3,9) підтверджує, що деградація антиоксидантної системи є найбільш інтенсивною за умов поєднання механічного пошкодження та процесів природного старіння. Отримані результати узгоджуються зі зниженням посівних якостей, оскільки зменшення активності каталази відображає виснаження захисних ресурсів насіння (табл. 3).

Встановлено, що інтенсивність дихання є одним із ключових показників метаболічної стабільності насіння, який істотно зростає під дією стресових чинників. У свіжозібраному цілому насінні сорту 'Царевич' цей показник був мінімальним і становив 1,12 мг СО₂, що свідчить про глибокий стан спокою та низький рівень енергетичних витрат.

Механічне пошкодження насіння спричиняє різке підвищення інтенсивності дихання: вже на першому році зберігання макротравми збільшують цей показник на 68–71 % порівняно з цілим насінням. Зі збільшенням тривалості зберігання до 5 років спостерігається поступове посилення дихальних процесів і в контрольних варіантах, де у сорту 'Отаман' інтенсивність дихання зростає з 1,24 до 1,92 мг СО₂.

Найбільш негативна динаміка відзначена у сорту 'Отаман' за поєднання макротравм і 5-річного зберігання, де показник досяг 3,08 мг СО₂, що майже втричі перевищує контрольні значення. Підвищена інтенсивність дихання у травмованому насінні корелює зі зниженням вмісту вуглеводів на 4,7–4,8 %, що пояснюється активним окисненням цукрів для підтримання пошкоджених клітинних структур.

Статистично значуща взаємодія досліджуваних факторів (НІР_{0,05} = 0,18) підтверджує синергічний ефект механічної деструкції насінневих оболонок і тривалого зберігання на інтенсифікацію метаболічних процесів. Порушення цілісності покривних тканин у поєднанні з тривалою експозицією спричиняє неконтрольовану активацію газообміну та прискорену втрату життєздатності зародка, значно перевищуючи темпи деградації за стандартних умов зберігання (табл. 4).

Сорт 'Царевич' демонструє найвищу здатність до підтримання енергетичного балансу, зберігаючи інтенсивність дихання на рівні 2,52 мг СО₂ навіть у найстресовіших варіантах досліду.

Накопичення продуктів окиснення у свіжозібраному насінні сорту 'Царевич' було мінімальним і становило 0,42 ум. од., що свідчить про високу цілісність ліпідного комплексу.

Інтенсивність дихання насіння гороху посівного залежно від тривалості зберігання та травмованості, мг CO₂/100 г сухої речовини за годину

Сорт (А)	Тривалість зберігання (В)	Ціле насіння	Мікротравми	Макротравми
'Царевич'	1 рік	1,12 К	1,45	1,88
	3 роки	1,38	1,72	2,15
	5 років	1,65	2,04	2,52
'Оплот'	1 рік	1,18	1,52	1,96
	3 роки	1,44	1,85	2,28
	5 років	1,76	2,18	2,74
'Отаман'	1 рік	1,24	1,64	2,12
	3 роки	1,56	1,98	2,46
	5 років	1,92	2,42	3,08
НІР _{0,05}	Фактор А (сорт)		0,08	
	Фактор В (зберігання)		0,12	
	Фактор С (травми)		0,10	
	Взаємодія АВС		0,18	

Механічне травмування насіння ініціює розвиток ланцюгових реакцій окиснення: наявність макротравм уже на першому році зберігання підвищує рівень деградації ліпідів у 1,9–2,1 раза порівняно з цілим насінням. Зі збільшенням тривалості зберігання до 5 років спостерігається інтенсивне накопичення токсичних продуктів ліпідного розпаду, яке у сорту 'Царевич' становить 0,94 ум. од. у контролі та 1,68 ум. од. за умов макротравм (табл. 5). Найвищий рівень деструкції зафіксовано у сорту 'Отаман' у варіанті 5-річного зберігання травмованого насіння – 2,34 ум. од., що свідчить про глибоку дестабілізацію мембранних структур зародка.

Статистично достовірна взаємодія факторів (НІР_{0,05} = 0,12) підтверджує, що механічне пошкодження виступає каталізатором окиснювальних процесів, які з часом набувають неконтрольованого характеру. Сорт 'Царевич' демонструє вищу стійкість ліпідного комплексу, зберігаючи рівень окиснення на 28 % нижчим, ніж у сорту 'Отаман' у критичних варіантах дослідження, що частково пояснює його вищу лабораторну схожість.

Експериментально підтверджено, що підвищення вмісту продуктів перекисного окиснення ліпідів корелює зі зниженням активності каталази, яка в нормі забезпечує їх нейтралізацію (табл. 5).

Таблиця 5

Вміст продуктів окиснення ліпідів у насінні гороху посівного залежно від тривалості зберігання та травмованості, ум. од.

Сорт (А)	Тривалість зберігання (В)	Ціле насіння	Мікротравми	Макротравми
'Царевич'	1 рік	0,42 К	0,58	0,82
	3 роки	0,65	0,84	1,15
	5 років	0,94	1,22	1,68
'Оплот'	1 рік	0,48	0,66	0,94
	3 роки	0,74	0,98	1,32
	5 років	1,08	1,45	1,92
'Отаман'	1 рік	0,54	0,75	1,12
	3 роки	0,86	1,18	1,56
	5 років	1,24	1,72	2,34
НІР _{0,05}	Фактор А (сорт)		0,05	
	Фактор В (зберігання)		0,08	
	Фактор С (травми)		0,06	
	Взаємодія АВС		0,12	

Висновки

Встановлено виражений деструктивний вплив тривалого зберігання та механічного травмування на насіння гороху посівного. Найбільш критичним є поєднання макротравм і 5-річного терміну зберігання, що призводить до зниження життєздатності на 44,2–53,8 % залежно від генотипу.

Виявлено закономірне зниження антиоксидантного потенціалу насіння. Активність каталази та пероксидази у травмованих зразках після 5 років зберігання зменшується в середньому у 1,8–2,5 раза, що свідчить про виснаження захисних систем і втрату здатності зародка протидіяти окиснювальному стресу.

Доведено, що механічні пошкодження виступають каталізатором метаболічної деградації. Порушення цілісності насінневих оболонок спричиняє «дихальний вибух» (зростання інтенсивності дихання у 2,4–2,7 раза) та різке посилення процесів перекисного окиснення ліпідів (у 4,0–4,3 раза), що зумовлює незворотну деструкцію клітинних мембран.

Визначено сортову специфіку адаптивності досліджуваних генотипів. Сорт 'Царевич' виявив найвищу біологічну стійкість, зберігаючи життєздатність на рівні 54,6 % навіть за максимально стресових умов досліду, що на 3,8–8,4 % перевищує показники сортів 'Оплот' та 'Отаман'.

Для забезпечення високих посівних якостей насіння гороху необхідно мінімізувати механічне травмування під час збирання та доробки, а термін використання страхових фондів травмованого насіння не повинен перевищувати три роки.

Використана література

1. Жуйков О. Г., Лагутенко К. В. Горох посівний в Україні – стан, проблеми, перспективи (оглядова). *Таврійський науковий вісник*. 2017. № 98. С. 65–71.
2. Мазур В. А., Гончарук І. В., Дідур І. М. та ін. Інноваційні аспекти технологій вирощування, зберігання і переробки зернобобових культур. Вінниця : Нілан-ЛТД, 2021. 180 с.
3. Задорожна О. А., Задорожний К. М. Генетичні аспекти довговічності насіння деяких зернових і бобових. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2023. № 33. С. 123–128. <https://doi.org/10.7124/FEE0.v33.1579>
4. Стригун В. М., Діденко А. М. Відновлення посівних якостей насіння у насінництві гороху овочевого (*Pisum sativum* L.). *Біорізноманіття, екологія та експериментальна біологія*. 2022. Т. 24, № 2. С. 38–47. <https://doi.org/10.34142/2708-5848.2022.24.2.05>
5. Gianella M., Doria E., Dondi D. et al. Physiological and molecular aspects of seed longevity: exploring intra-species variation in eight *Pisum sativum* L. accessions. *Physiologia plantarum*. 2022. Vol. 174, Iss. 3. Article e13698. <https://doi.org/10.1111/ppl.13698>
6. Cojocar A., Carbune R.-V., Teliban G.-C. et al. Physiological, morphological and chemical changes in pea seeds under different storage conditions. *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14, Iss. 1. Article 28191. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-79115-6>
7. Filippova G. V., Filippov E. V., Prokopiev I. A., Shein A. A., Neustroyev A. N. Integrity of nuclear DNA and physio-biochemical indicators of *Pisum sativum* L. seeds under accelerated aging. *Agricultural Biology*. 2019. Vol. 54, Iss. 3. P. 538–547.
8. Zhang H., Sun H., Tang Z., Wang G. Integrated agronomy of pea (*Pisum sativum* L.): a review on cultivation, harvesting, and storage for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*. 2025. Vol. 16. Article 1670445. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1670445>
9. Suathong W., Ongkunaruk P., Trevanich S. The shelf life and quality of green pea (*Pisum sativum*) sprouts during storage at different refrigerated temperatures and durations of indirect-sunlight exposure. *Postharvest Biology and Technology*. 2024. Vol. 207. Article 112590. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112590>
10. Lazarević J., Zorić L., Karagić Đ. et al. Anatomical and micromorphological characteristics of the seed coat of field pea (*Pisum sativum* L.) genotypes in relation to cracks and damage of seeds. *Archives of Biological Sciences*. 2017. Vol. 69, Iss. 3. P. 503–512. <https://doi.org/10.2298/ABS160612126L>
11. Szpunar-Krok E., Kuźniar P., Pawlak R., Migut D. The effect of foliar fertilization on the resistance of pea (*Pisum sativum* L.) seeds to mechanical damage. *Agronomy*. 2021. Vol. 11, Iss. 1. Article 189. <https://doi.org/10.3390/agronomy11010189>
12. Kumar R., Gupta A., Verma K., Singh A. Effect of seed treatments and storage period on seed health parameters of pea (*Pisum sativum* L.) under ambient storage conditions. *Legume Research*. 2023. Vol. 46, Iss. 9. P. 1233–1239. <https://doi.org/10.18805/LR-4634>
13. Ejeta M., Mekonen H., Mola T. Comparative evaluation of different packaging materials for field pea seed quality over various storage periods. *International Journal of Life Sciences*. 2021. Vol. 8, Iss. 4. P. 1–11.
14. Anurag R. K., Manjunatha M., Jha S. N., Kumari L. Storage quality of shelled green peas under modified atmosphere packaging at different storage conditions. *Journal of Food Science and Technology*. 2016. Vol. 53, Iss. 3. P. 1640–1648. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-2066-y>
15. Січкач В., Коблай С., Молодченкова О. Сорти гороху (*Pisum sativum* L.) з підвищеним рівнем адаптивності до посушливих умов. *Journal of Native and Alien Plant Studies*. 2025. № 21. С. 111–133. <https://doi.org/10.37555/2707-3114.21.2025.346426>
16. ДСТУ 4138:2002. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. Київ : Держспоживстандарт України, 2003. 173 с.
17. Приседський Ю. Г. Великий практикум з фізіології та біохімії рослин (біохімічні методи досліджень): навчальний посібник. Вид. друге, переробл. та доп. Вінниця : ТВОРИ, 2022. 418 с.

18. Мусієнко М. М., Паршикова Т. В., Славний П. С. Спектрофотометричні методи в біології та медицині : практикум. Київ : Фітосоціоцентр, 2001. 210 с.
19. Грицаєнко З. М., Грицаєнко А. О., Карпенко В. П. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів. Київ : НІЧЛАВА, 2003. 320 с.
20. Hodges D. M., DeLong J. M., Forney C. F., Prange R. K. Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds. *Planta*. 1999. Vol. 207, No. 4. P. 604–611. <https://doi.org/10.1007/s004250050524>
21. Chance B., Maehly A. C. Assay of catalase and peroxidase. *Methods in Enzymology*. 1955. Vol. 2. P. 764–775. [http://dx.doi.org/10.1016/S0076-6879\(55\)02300-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0076-6879(55)02300-8)
22. STATISTICA (Data Analysis Software System), Version 10 : software. StatSoft, Inc., 2011. URL: <http://www.statsoft.com>

References

1. Zhuikov, A. G., & Lahutenko, K. V. (2017). Green peas in Ukraine: state, problems, prospects (a review article). *Taurian Scientific Herald*, 98, 65–71. [In Ukrainian]
2. Mazur, V. A., Honcharuk, I. V., Didur, I. M., Pantsyryeva, H. V., Telekalo, N. V., & Kupchuk, I. M. (2021). *Innovative aspects of technologies for cultivation, storage and processing of leguminous crops*. Nilan-LTD. [In Ukrainian]
3. Zadorozhna, O. A., & Zadorozhnyi, K. M. (2023). Genetic aspects of seed longevity of some cereals and legumes. *Factors in Experimental Evolution of Organisms*, 33, 123–128. <https://doi.org/10.7124/FEE0.v33.1579> [In Ukrainian]
4. Stryhun, V. M., & Didenko, A. M. (2022). Restoration of sowing qualities of seeds in vegetable peas *Pisum sativum* L. seeding. *Biodiversity, Ecology and Experimental Biology*, 24(2), 38–47. <https://doi.org/10.34142/2708-5848.2022.24.2.05>
5. Gianella, M., Doria, E., Dondi, D., Milanese, C., Gallotti, L., Börner, A., Zannino, L., Macovei, A., Pagano, A., Guzzon, F., Biggiogera, M., & Balestrazzi, A. (2022). Physiological and molecular aspects of seed longevity: Exploring intra-species variation in eight *Pisum sativum* L. accessions. *Physiologia Plantarum*, 174(3), Article e13698. <https://doi.org/10.1111/ppl.13698>
6. Cojocar, A., Carbune, R.-V., Teliban, G.-C., Stan, T., Mihalache, G., Rosca, M., Rusu, O.-R., Butnariu, M., & Stoleru, V. (2024). Physiological, morphological and chemical changes in pea seeds under different storage conditions. *Scientific Reports*, 14(1), Article 28191. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-79115-6>
7. Filippova, G. V., Filippov, E. V., Prokopiev, I. A., Shein, A. A., & Neustroyev, A. N. (2019). Integrity of nuclear DNA and physio-biochemical indicators of *Pisum sativum* L. seeds under accelerated aging. *Agricultural Biology*, 54(3), 538–547.
8. Zhang, H., Sun, H., Tang, Z., & Wang, G. (2025). Integrated agronomy of pea (*Pisum sativum* L.): A review on cultivation, harvesting, and storage for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 16, Article 1670445. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1670445>
9. Suathong, W., Ongkunaruk, P., & Trevanich, S. (2024). The shelf life and quality of green pea (*Pisum sativum*) sprouts during storage at different refrigerated temperatures and durations of indirect-sunlight exposure. *Postharvest Biology and Technology*, 207, Article 112590. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112590>
10. Lazarevic, J., Zoric, L., Karagic, D., Milosevic, B., Karanovic, D., Milic, D., Tepic, A., & Lukovic, J. (2017). Anatomical and micromorphological characteristics of the seed coat of field pea (*Pisum sativum* L.) genotypes in relation to cracks and damage of seeds. *Archives of Biological Sciences*, 69(3), 503–512. <https://doi.org/10.2298/ABS160612126L>
11. Szpunar-Krok, E., Kuźniar, P., Pawlak, R., & Migut, D. (2021). The effect of foliar fertilization on the resistance of pea (*Pisum sativum* L.) seeds to mechanical damage. *Agronomy*, 11(1), Article 189. <https://doi.org/10.3390/agronomy11010189>
12. Kumar, R., Gupta, A., Verma, K., & Singh, A. (2023). Effect of seed treatments and storage period on seed health parameters of pea (*Pisum sativum* L.) under ambient storage conditions. *Legume Research*, 46(9), 1233–1239. <https://doi.org/10.18805/LR-4634>
13. Ejeta, M., Mekonen, H., & Mola, T. (2021). Comparative evaluation of different packaging materials for field pea seed quality over various storage periods. *International Journal of Life Sciences*, 8(4), 1–11.
14. Anurag, R. K., Manjunatha, M., Jha, S. N., & Kumari, L. (2016). Storage quality of shelled green peas under modified atmosphere packaging at different storage conditions. *Journal of Food Science and Technology*, 53(3), 1640–1648. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-2066-y>
15. Sichkar, V., Koblai, S., & Molodchenkova, O. (2025). Pea cultivars (*Pisum sativum* L.) with an increased level of adaptability to arid conditions. *Journal of Native and Alien Plant Studies*, 21, 111–133. <https://doi.org/10.37555/2707-3114.21.2025.346426> [In Ukrainian]
16. Derzhspozhyvstandart of Ukraine. (2003). *State Standard of Ukraine 4138:2002. Seeds of agricultural crops. Methods for determining quality*. [In Ukrainian]
17. Prysedskyi, Yu. H. (2022). *Comprehensive workshop on plant physiology and biochemistry (biochemical research methods)* (2nd ed., rev. & exp.). TVORY. [In Ukrainian]

18. Musiienko, M. M., Parshykova, T. V., & Slavnyi, P. S. (2001). *Spectrophotometric methods in biology and medicine: Practical manual*. Fitosotsiotsentr. [In Ukrainian]
19. Hrytsaienko, Z. M., Hrytsaienko, A. O., & Karpenko, V. P. (2003). *Methods of biological and agrochemical studies of plants and soils*. NICHLAVA. [In Ukrainian]
20. Hodges, D. M., DeLong, J. M., Forney, C. F., & Prange, R. K. (1999). Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds. *Planta*, 207(4), 604–611. <https://doi.org/10.1007/s004250050524>
21. Chance, B., & Maehly, A. C. (1955). Assay of catalase and peroxidase. *Methods in Enzymology*, 2, 764–775. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(55\)02300-8](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(55)02300-8)
22. StatSoft, Inc. (2011). *STATISTICA (Data Analysis Software System), Version 10* [Software]. <http://www.statsoft.com>

UDC 633.358:631.531.02:581.19

Kamianchenko, D. I. (2026). Physiological and biochemical changes in seeds of pea varieties under different storage durations and degrees of mechanical damage. *Advanced Agritechnologies*, 14(1). <https://doi.org/10.47414/na.14.1.2026.360985> [In Ukrainian]

Uman National University, Instyuttska St., Uman, Cherkasy region, 20301, Ukraine, e-mail: lidiyakononenko@ukr.net

Aim. To establish the patterns of physiological and biochemical transformations in seeds of pea (*Pisum sativum* L.) depending on storage duration and degree of mechanical damage, and to assess varietal differences in resistance to biochemical ageing. **Methods.** The study was conducted in 2022–2026 at Uman National University. The objects of research were Ukrainian pea varieties ‘Tsarevych’, ‘Oplot’, and ‘Otaman’. The experiment was set up by a three-factor design: factor A – variety; factor B – storage duration (1, 3, and 5 years); factor C – degree of mechanical damage (intact seeds, micro-injuries, macro-injuries). Seed viability was determined using the tetrazolium test; respiration intensity was measured by the amount of CO₂ released; catalase and peroxidase activity was assessed using gasometric and colorimetric methods. Lipid peroxidation was evaluated by the content of TBA-reactive products. Statistical analysis was performed using analysis of variance. **Results.** Prolonged storage and mechanical damage exerted a pronounced destructive effect on the physiological and biochemical state of seeds. In the control, the highest viability was observed in the variety ‘Tsarevych’ (94.8%), whereas the combination of macro-injuries and five-year storage reduced viability to 54.6%. For ‘Oplot’ and ‘Otaman’, the corresponding values were 50.8% and 46.2%. A consistent suppression of the antioxidant system was revealed: peroxidase and catalase activity decreased 1.8–2.5 times under the most stressful conditions compared with the control. The lowest enzyme activity was recorded in ‘Otaman’ under the combination of five-year storage and macro-injuries. Mechanical damage was shown to activate metabolic processes in seeds: respiration intensity in damaged samples increased 2.4–2.7 times, reaching 3.08 mg CO₂/100 g dry matter per hour. At the same time, intensive accumulation of lipid peroxidation products was observed, rising 4.0–4.3 times compared with the control. A close relationship was established between reduced antioxidant enzyme activity, enhanced oxidative processes, and loss of seed viability. **Conclusions.** The most critical factor in the degradation of seed quality is the combination of macro-injuries and prolonged storage. Mechanical damage accelerates oxidative stress, destabilises membrane structures, and intensifies biochemical ageing. The variety ‘Tsarevych’ demonstrated the highest biological resilience and ability to maintain viability under long-term storage. To ensure high seed quality, mechanical damage during harvesting and processing must be minimised, and the use of reserve stocks of damaged seed should not exceed three years.

Keywords: mechanical damage; viability; peroxidase; catalase; respiration intensity.

Надійшла / Received 13.02.2026

Погоджено до друку / Accepted 25.03.2026

Опубліковано онлайн / Published online 28.05.2026