



<https://doi.org/10.15407/cryo35.03.149>

УДК: 536.485:633.1

**О.А. Задорожна \*, Т.П. Шиянова**

Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН України,  
Харків, Україна

\*olzador@ukr.net

## ЗБЕРІГАННЯ НАСІННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР ЗА 4 °С

Досліджено довговічність насіння зразків пшениці м'якої (*Triticum aestivum*): var. *erythrosperrum*, var. *lutescens* ярої та озимої; пшениці твердої ярої (*Triticum durum*): var. *hordeiforme*, var. *leucurum*, var. *melanopus*, var. *alexandrinum*; жита посівного озимого (*Secale cereale*) subsp. *cereale* var. *vulgare*; ячменю звичайного (*Hordeum vulgare*): var. *nutans*, var. *erectum*, var. *rikotense*, var. *nudum*, var. *pallidum*; кукурудзи (*Zea mays*) підвидів: розлусна (subsp. *evarta*), кремєниста (subsp. *indurata*), зубувата (subsp. *indentata*), напівзубувата (subsp. *semidentata*), цукрова (subsp. *saccharata*) при зберіганні за температури 4 °С та вологості насіння 6—7 %. Оцінено динаміку схожості насіння 41 зразка зазначених генотипів протягом зберігання до 10 років. Для більшості зразків не виявлено істотних відмін схожості порівняно з вихідною. В окремих випадках спостерігали підвищення схожості насіння після 4—8 років зберігання. Відстежено варіювання схожості насіння залежно від генотипу зразка. У роботі аналізується наявність відмін за довговічністю насіння різних різновидів досліджених видів і обговорюється вплив низької температури на довговічність насіння та експресію генів, особливо посилюючих катаболізм абсцизової кислоти.

**Ключові слова:** насіння, пшениця, жито, ячмінь, кукурудза, низька температура, схожість, довговічність, абсцизова кислота.

Насіння більшості зернових культур в умовах природного зберігання, за класифікацією Ерварта, належить до мезобіотиків [13], тобто насіння, довговічність якого у звичайних умовах становить від 3 до 15 років. На сучасному етапі розвитку науки та виробництва існує потреба у зберіганні насіння. Існують спеціальні рекомендації щодо оптимізації зберігання насіння зернових культур для промисловості України, зокрема пшениці, жита, ячменю, кукурудзи, яке слід зберігати за вологості не вище 14 % [1, 2, 4, 5].

Для середньострокового зберігання насіння в умовах генбанків рекомендується використовувати температуру 5—10 °С та відносну вологість повітря  $15 \pm 3$  %, а для довгострокового — температуру  $-18 \pm 3$  °С та відносну во-

логість  $15 \pm 3$  % [17]. Існує досвід зберігання насіння за контрольованої вологості, неконтрольованої, а також за контрольованої позитивної та негативної температури [6, 7, 10, 13, 28, 31, 32].

Установлено, що зберігання зразків пшениці м'якої, вирощеної в умовах північно-східного лісостепу України, дає змогу за вологості насіння 6—7 % у герметичній тарі навіть у сховищі з нерегульованою температурою зберігати вихідну схожість насіння вище 90 % упродовж 9 років без істотних змін [6]. Зберігання зразків пшениці твердої за умови контрольованої вологості насіння 6—8 % та вихідної схожості понад 90 % навіть у сховищі з нерегульованою температурою забезпечувало збереження вихідної схожості без змін не менше 10 років. Не

Цитування: Задорожна ОА, Шиянова ТП. Зберігання насіння зернових культур за 4 °С. *Проблеми кріобіології і кріомедицини*. 2025; 35(3): 156–63. <https://doi.org/10.15407/cryo35.03.149>

© Видавець ВД «Академперіодика» НАН України, 2025. Стаття опублікована на умовах відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

відзначено відмінностей у довговічності насіння пшениці твердої ярої різних різновидів [10].

Під час порівняння довговічності насіння пшениці м'якої (*Triticum aestivum* L.) та твердої (*T. durum* Desf.) встановлено, що за вологості насіння 12—14 % і температури 37 °С у модельних умовах довговічність насіння пшениці твердої суттєво перевищує таку у насіння пшениці м'якої. У зазначених модельних умовах пшениця тверда мала кращі показники схожості на початкових етапах старіння [11, 26].

Зберігання насіння жита (*Secale cereale* L.) за низької позитивної температури та вологості 6—7 % дозволяє зберігати зразки близько 10 років з рівнем схожості не нижче 80 % за вихідної величини цього показника не менше 90 %. Зберігання насіння жита з вологістю 5—7 % у сховищі за нерегульованої температури в умовах східного лісостепу України протягом 42 місяців не призвело до істотного зниження вихідної схожості насіння [7—9].

Зберігання насіння ячменю (*Hordeum vulgare* L.) з вологістю 5—8 % у сховищі з нерегульованою температурою також свідчило про відсутність суттєвих змін схожості впродовж 10 років за вихідної схожості насіння не менше 90 % [27]. Аналогічні результати спостерігали й для кукурудзи (*Zea mays* L.) різних різновидів [28]. Для подовження довговічності насіння середньострокового зберігання використовують низькі позитивні температури.

Мета роботи — аналіз довговічності насіння зернових культур, таких як пшениця, жито, ячмінь і кукурудза, за температури зберігання 4 °С та пояснення змін схожості насіння за цих умов зберігання.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Матеріалом для досліджень було насіння пшениці м'якої (*Triticum aestivum* L.) різних різновидів: var. *erythrosperrum* (Koern.) Mansf. яра — Рання 93, озимої — Альбатрос одеський, Куяльник; var. *lutescens* (Alef.) Mansf. ярої — Євдокія, Харківська 26, Воронежська 6; озимої — Інна, Бажана; пшениці твердої (*Triticum durum* Desf.) різних різновидів: var. *hordeiforme* (Host) Koern. — Жизель, Омська янтарна; var. *leucurum* (Alef.) Koern. — CD 57005, Леукурум 343Н1; var. *melanopus* (Alef.) Koern. — CD 63891, CD 56177; var. *alexandrinum* (Host) Koern. — Треміс Прето. Досліджувалось також насіння жита

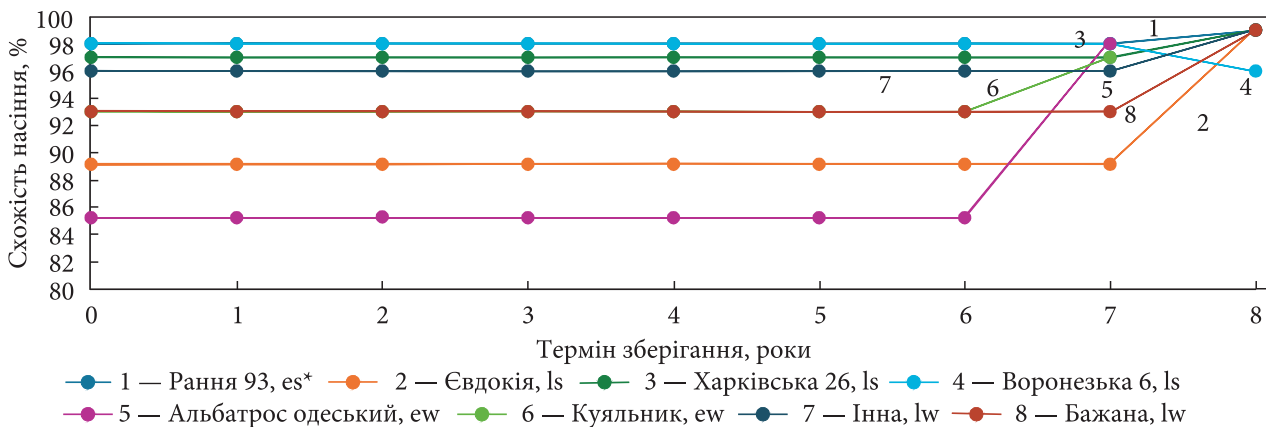
посівного озимого (*Secale cereale* L.) subsp. *cereale* var. *vulgare* Koern: Грозинське, Абраккас, Сомро, Дозор, Газелле, Лінія 693 зс, Полікросне 2, Харківська 55; ячменю звичайного (*Hordeum vulgare* L.) різних різновидів: var. *nutans* Schubl. — Франу 123, Парнас, Ескорт, Нутанс 778; var. *erectum* — Резібее, var. *rikotense* Reg. — Етикет, var. *nudum* L. — UA0803771, var. *pallidum* Ser. UA0802005. Матеріалом для досліджень слугувало також насіння кукурудзи (*Zea mays* L.) різних підвидів: розлусної (subsp. *evarta* Sturt.) — UB0102622, R16AA; кременистої (subsp. *indurata* Sturt.) — С.50, УХ576; зубуватої (subsp. *indentata* Sturt.) — ДК6А, Місцева НК9; напівзубуватої (subsp. *semindentata* Kulesh.) — ГР185, С.76; цукрової (subsp. *saccharata* Koern.) — КС 224, Grosby early.

Дослідне насіння висушували потоком повітря за температури не вище 25 °С та відносної вологості 25 % до рекомендованої вологості 6—7 %. Після висушування насіння поміщали в герметичну тару — пакети з багатошарової фольги та зберігали за температури 4 °С. Для визначення схожості насіння на час закладання та в контролі під час зберігання застосовували відповідні методики [3], які передбачають порівнювання між аркушами фільтрувального паперу залежно від культури за температури 20—25 °С впродовж 7—8 діб. Під час дослідження проводили аналіз схожості не менше ніж 100 насінин. Одиницею варіювання вважалась одна насінина. Схожість зразків порівнювали за допомогою критерію вибіркової частки [12] та програми «Excel» (Microsoft, США).

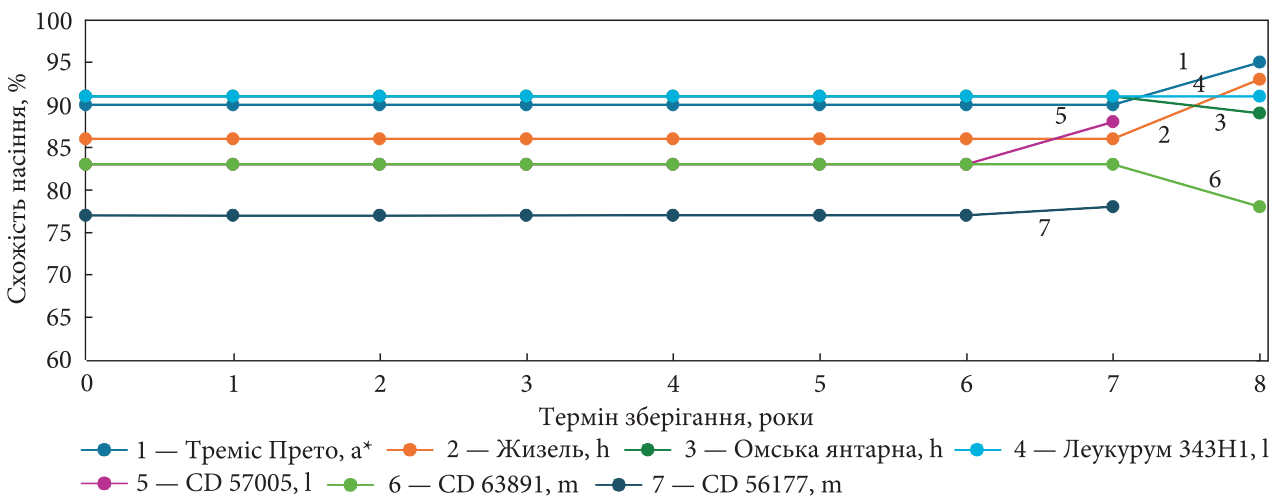
## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

За результатами досліджень встановлено, що після 8 років зберігання насіння пшениці м'якої ярої та озимої різних різновидів var. *erythrosperrum*, var. *lutescens* за температури 4 °С схожість насіння більшості зразків істотно не змінилася. У зразків насіння var. *lutescens* (сорт Євдокія) та var. *erythrosperrum* (сорт Альбатрос одеський) спостерігали істотне підвищення схожості ( $p < 0,05$ ) — на 10 і 13 % відповідно. Залежності довговічності насіння пшениці м'якої від різновиду та типу розвитку не виявлено (рис. 1).

Після 8 років зберігання насіння пшениці твердої ярої різних різновидів var. *hordeiforme*, var. *leucurum*, var. *melanopus*, var. *alexandrinum* за температури 4 °С та вологості 7 % схожість на-



**Рис. 1.** Схожість насіння пшениця м'якої, що зберігалось за температури 4 °С: \*es — var. *erythrospertum*, яра; ls — var. *lutescens*, яра; ew — var. *erythrospertum*, озима; lw — var. *lutescens*, озима. У зразків 2-Євдокія, 5-Альбатрос одеський схожість значуще відміна від вихідної після 7—8 років зберігання ( $p < 0,05$ )



**Рис. 2.** Схожість насіння пшениці твердої, що зберігалось за температури 4 °С: \* a — var. *alexandrinum*, h — var. *hordeiforme*, l — var. *leucurum*, m — var. *melanopus*

сіння істотно не змінилася. Проте після 6 років зберігання насіння у більшості зразків спостерігали тенденцію до підвищення схожості. Переваг у довговічності насіння пшениці твердої окремих різновидів не виявлено (рис. 2).

Після зберігання насіння жита протягом 9—10 років за температури 4 °С та вологості 7 % схожість насіння більшості зразків істотно не змінилася. Проте у насіння сорту Сомро схожість істотно підвищилася на 17 % через 4 роки зберігання ( $p < 0,05$ ), а у сорту Дозор — на 9 % після 9 років зберігання ( $p < 0,05$ ) (рис. 3).

Після 7—8 років зберігання насіння ячменю ярого різновидів var. *erectum*, var. *nutans*, var. *pallidum*, var. *nudum*, var. *rikotense* за температури 4 °С та вологості 6 % схожість насіння більшості зразків істотно не змінилася. Проте після 7 років зберігання у зразків UA0803771 та

UA0802005 схожість істотно підвищилася на 17 і 23 % відповідно ( $p < 0,05$ ). У зразка Франу 123 після 8 років зберігання спостерігали істотне підвищення схожості на 15 % ( $p < 0,05$ ). Переваг у довговічності насіння ячменю ярого окремих різновидів не виявлено (рис. 4).

Зберігання насіння кукурудзи різних підвидів — розлусної, кременистої, зубуватої, напівзубуватої та цукрової — упродовж 9 років за температури 4 °С та вологості в середньому 7,7 % або не змінювало схожість, або спричиняло її незначне підвищення (рис. 5). Так, зберігання у зазначених умовах насіння розлусної кукурудзи не вплинуло на схожість зразка UB0102622, проте збільшило її на 5 % у зразка R16AA ( $p < 0,05$ ). Для кременистої кукурудзи схожість обох зразків (С.50, UX576) залишалася без змін. Зберігання насіння зубува-

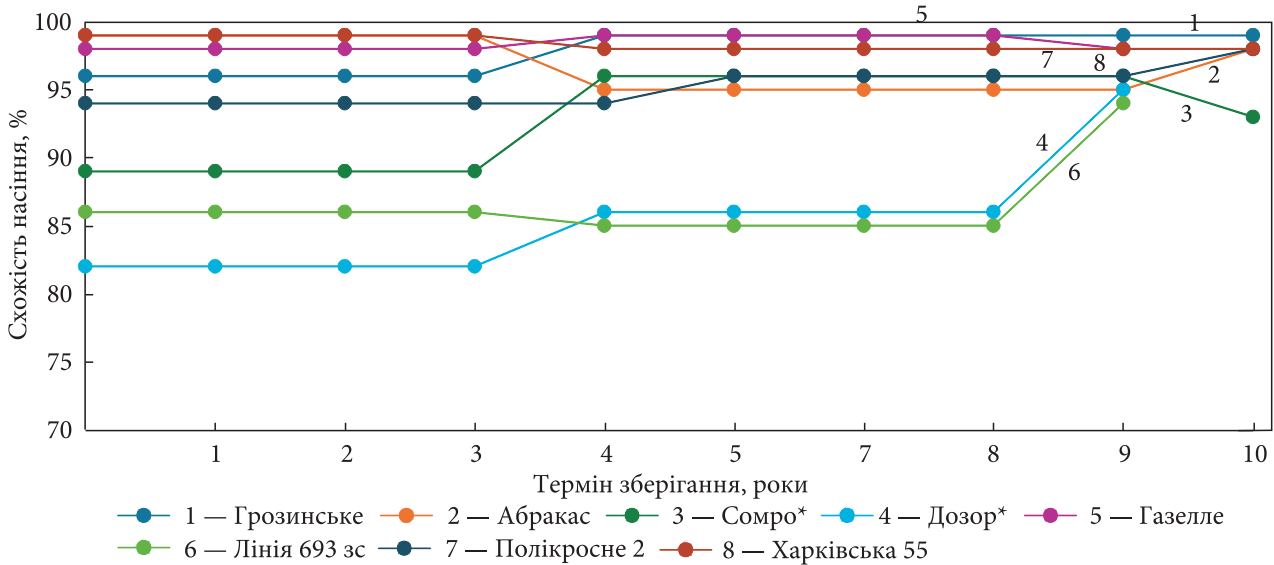


Рис. 3. Схожість насіння жита, що зберігалось за температури 4 °С: \* 3 — Сомро, 4 — Дозор значуща відмінність від вихідної схожості після 4 років зберігання ( $p < 0,05$ )

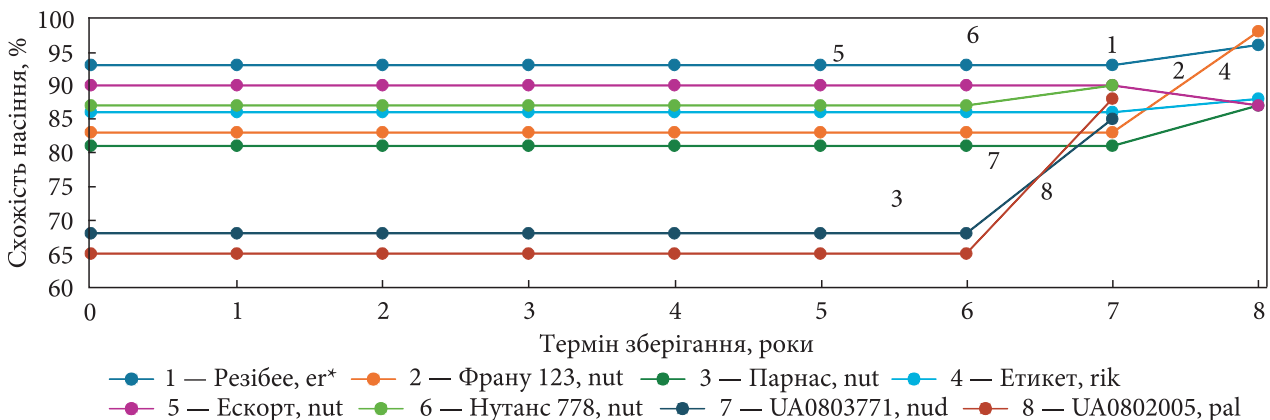
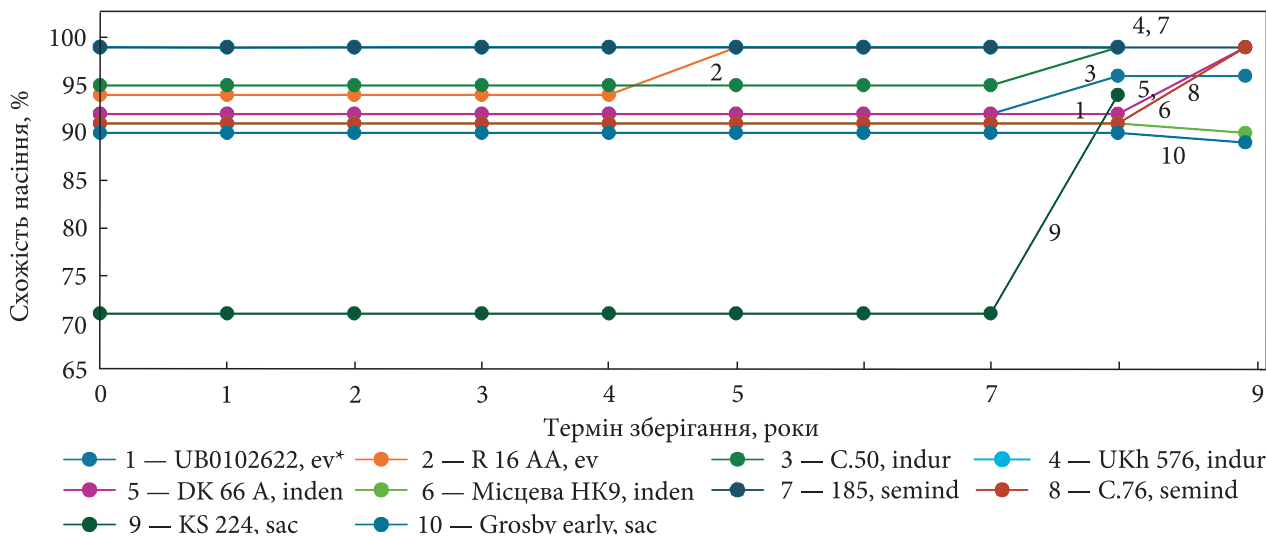


Рис. 4. Схожість насіння ячменю, що зберігалось за температури 4 °С: \* er — var. *erectum*, nut — var. *nutans*, pal — var. *pallidum*, rik — var. *rikotense*. У зразків 2-Франу 123, 7-UA0803771, 8-UA0802005 схожість значуща відмінна від вихідної після 7 років зберігання ( $p < 0,05$ )

тої кукурудзи не змінювало схожість зразка Місцева НК, але підвищувало її на 7 % у зразка ДК6А ( $p < 0,05$ ). Для напівзубуватої кукурудзи зберігання не вплинуло на схожість зразка ГР185, проте збільшило її на 8 % у зразка С.76 ( $p < 0,05$ ). У насіння цукрової кукурудзи після 7 років зберігання за температури 4 °С схожість зразка КС 224 збільшилася на 23 % ( $p < 0,05$ ), тоді як схожість зразка Grosby early залишалася без змін (рис. 5).

Отже, для кукурудзи за умов зберігання при 4 °С та вологості насіння 7,7 % спостерігається варіювання довговічності залежно від генотипу зразка, зі збереженням загальної тенденції для всіх підвидів — підтримання схожості насіння на вихідному рівні або її підвищення.

Наслідки впливу низьких позитивних температур на рослини вивчено як на стадії вегетуючої рослини, так і на стадії насінини. Для холодостійкості вирішальне значення має стабільність мембран, оскільки холодостійкі рослини характеризуються вищим рівнем ненасиченості ліпідів, що забезпечує плинність мембран і підтримує нормальний метаболізм. Низькі температури порушують обмін активних форм кисню, що може спричинити окиснювальне пошкодження, яке пом'якшується завдяки антиоксидантному захисту. Додаткову адаптацію до холоду підтримує також гормональна регуляція за участю абсцизової кислоти (АБК), ауксину, гіберелінів та інших фітогормонів [32].



**Рис. 5.** Схожість насіння кукурудзи, що зберігалось за температури 4 °С: \* ev — розлусна (subsp. *everta*), indur — кремениста (subsp. *indurata*), inden — зубувата (subsp. *indentata*), semind — напівзубувата (subsp. *semidentata*), sac — цукрова (subsp. *sacharata*). У зразків 2-R 16 AA, 5-ДК 66 А, 8-С.76, 9-КС 224 значуща відмінність від вихідної схожості після 5–9 років зберігання ( $p < 0,05$ )

У роботі М. Yu [25] проаналізовано реакції рослин на низькі температури за фенотипом, гормональним станом та сигнальними шляхами. Виявлено складні механізми, за допомогою яких рослини реагують на низькотемпературний стрес, зокрема численні транскрипційні та регуляторні чинники, що впливають на відповідні сигнальні шляхи і відіграють вирішальну роль у стійкості рослин. На модельному об'єкті *Arabidopsis thaliana* ідентифіковано гени, що відповідають за стійкість до низьких температур. Отже, існує широкий спектр шляхів, за допомогою яких рослини долають холодний стрес. Основними вважаються CBF (C-repeat binding factor), АБК-залежна фоторегуляція та інші. Гени CBF активуються і експресуються за низьких температур, специфічно зв'язуючись із консервативним структурним доменом промотора гена COR (COLD-REGULATED), що призводить до накопичення захисних речовин — осморегуляторних і кріопротекторних білків — та підвищує толерантність до холоду або заморожування.

Коли рослини піддаються холодному стресу, активуються складні біохімічні та молекулярні механізми адаптації, які регулюються транскрипційними й трансляційними модифікаціями генів. Ці механізми поділяються на АБК-залежні та АБК-незалежні шляхи, пов'язані з експресією відповідних генів через дію різних транскрипційних факторів. Крім того,

транскрипційні та посттрансляційні модифікації модулюють експресію генів у сигнальному каскаді на різних рівнях, що зрештою призводить до акліматизації рослин до низькотемпературного стресу [15].

Стан спокою та проростання насіння регулюється багатьма фітогормонами. Етилен, ауксин і брасиностероїди сприяють проростанню насіння, яке перебуває у стані спокою, однак вважається, що провідними регуляторами цього процесу є АБК і гіберелова кислота (ГК). Збалансоване співвідношення АБК / ГК, що регулюється динамікою їхнього синтезу та катаболізму, визначає стан насіння залежно від чутливості до факторів середовища [21]. Для насіння рису встановлено, що низька температура може впливати на експресію генів, посилюючи експресію генів катаболізму АБК (родина *OsCYP707A*) та біосинтезу ГК (родина *OsGA20ox* і *OsGA3ox*).

Вважається, що для подальшого розуміння молекулярних механізмів спокою зародків насіння рису необхідно провести додаткові дослідження, зокрема порівняльний аналіз послідовностей та експресії генів, що визначають ембріональний спокій, і побудувати мережі генної регуляції, які охоплюють усі стадії спокою та проростання [21].

Ендогенний рівень АБК контролюється комплексом регуляторних механізмів, що включає біосинтез, катаболізм, транспорт і сигнальні

шляхи. Ця складна регуляторна мережа діє на рівнях транскрипції, трансляції та посттрансляційних модифікацій. Більшість генів, залучених до біосинтезу, катаболізму та транспорту АБК, описано, а також виявлено механізми, що регулюють її метаболізм. Відомо про сприйняття АБК клітинними рецепторами та сигнальні шляхи, що реагують на зовнішні умови. Локальна концентрація АБК є критично важливою для запуску АБК-опосередкованого сигналювання під час розвитку рослин і у відповідь на зміни навколишнього середовища [15].

За високих температур під час проростання відбувається інгібування цього процесу (термоінгібування), у якому беруть участь АБК, ГК та етилен. Ключовими є гени, що кодують 9-цис-епоксикаротиноїдну діоксигеназу (NCEDs), важливі для індукції проростання за високих температур. Гени біосинтезу ГК та етилену пригнічуються за цих умов, що обмежує проростання. При зниженні температури вплив АБК на інгібування проростання послаблюється [16, 24].

Структура і властивості насіння залежать від експресії генів рослини під час досягання насіння. Виявлене фенотипове варіювання дало змогу ідентифікувати локуси кількісних ознак (QTL), які контролюють розвиток насіння у взаємодії з факторами середовища (QTL × E) [18].

Існують дві критичні фази розвитку в життєвому циклі рослин — проростання насіння та цвітіння — які регулюються генетичними й екологічними факторами. У модельної рослини *Arabidopsis thaliana* встановлено ген DELAY OF GERMINATION1 (DOG1), який бере участь у регуляції стану спокою насіння у відповідь на температуру та генетично пов'язаний із контролем часу цвітіння в різних екотипів [20].

Сучасні дослідження генетичних основ варіювання життєздатності насіння включають застосування геноміки й транскриптоміки для визначення генів-кандидатів, що впливають на схожість і швидкість проростання. Вважається, що вторинний і відносний спокій насіння може послаблюватися з часом за сприятливих умов освітлення, температури, післязбирального досягання та охолодження [22].

Вихід зі стану спокою під час холодного зберігання цибулин *Lilium pumilum* супроводжується ультраструктурними змінами. Порівняння рівнів експресії генів між зразками під час зберігання показало, що активуються ре-

гуляторні шляхи вуглеводного метаболізму та сигналізації фітогормонів. Деякі диференційовано експресовані гени, пов'язані з антиоксидантною активністю, епігенетичними модифікаціями та факторами транскрипції, індуються у відповідь на низькі температури, контролюючи складні механізми виходу зі стану спокою [14].

Для сільськогосподарських культур проростання насіння на рівні метаболізму фітогормонів та експресії генів за різних екологічних умов досліджено недостатньо. Для насіння пшениці встановлено, що за низьких температур зберігання відбуваються зміни в метаболізмі вуглеводів, жирних кислот, нуклеотидів і амінокислот, що забезпечує стабільність клітинних структур і затримує окисні процеси [29].

Дослідження зберігання насіння кукурудзи в модельних умовах за температур 15, 20 і 35 °С та вологості до 15 % [31] показали зміни в метаболізмі амінокислот, гліцероліпідів, гліцерофосфоліпідів, крохмалю й сахарози під час зберігання.

Підвищення схожості насіння кукурудзи та інших зернових можна пояснити змінами експресії генів, зокрема сигнального шляху АБК, під час впливу низьких температур і виходу насіння зі стану спокою [14, 16, 18, 24].

Для лілії карликової (*Lilium pumilum* DC.) за результатами РНК-секвенування створено транскриптомні профілі насіння, що зберігалися за температур 20 та 4 °С. Аналіз головних компонент показав, що експресія генів у насінні лотоса є стабільнішою за температури 4 °С порівняно з 20 °С. Рівні експресії генів сигнального шляху АБК були значно пригнічені за низьких температур [23].

У модельних умовах зберігання насіння жита за температур 4 і –20 °С в умовах східного лісостепу України виявлено кореляцію між активністю АБК у насінні, температурою та вологістю зберігання. Найнижчу активність АБК зафіксовано за найнижчої температури ( $r \geq 0,69$ ) та вологості насіння 5 %. Таким чином, можна очікувати, що найшвидше проростання насіння відбуватиметься за умов низької температури та вологості [29].

## ВИСНОВКИ

Таким чином, насіння досліджених зразків пшениці м'якої (ярої та озимої), пшениці твердої,

жита посівного озимого, ячменю звичайного та кукурудзи з вологістю 6—7 % за температури 4 °С зберігалось до 10 років без зміни схожості або з її підвищенням. В окремих випадках спостерігалось підвищення схожості насіння після 4—8 років зберігання на 5—23 %. Схожість насіння варіювала залежно від генотипу зразка. Не виявлено стабільних відмін у довговічності насіння різних різновидів досліджених видів.

На основі раніше отриманих авторами та інших дослідників даних таке підвищення схожості насіння можна пояснити зміною експресії генів, що контролюють метаболізм абсцизової кислоти під час тривалого перебування насіння за низької позитивної температури. Для більш детального обґрунтування підвищення схожості насіння досліджених зернових необхідний додатковий аналіз експресії конкретних генів із використанням ортологічного підходу.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ 3768:2019 Пшениця. Технічні умови. Київ: ДП «УкрНДНЦ»; 2019. 21 с.
2. ДСТУ 3769-98 Ячмінь. Технічні умови. Київ: Держспоживстандарт України; 1998. 20 с.
3. ДСТУ 4138-2002. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. Київ: Держспоживстандарт України; 2003. 173 с.
4. ДСТУ 4522:2006 Жито. Технічні умови. (із змінами згідно наказу Держспоживстандарту, зміна № 1 — № 307 від 28.08.2009). Київ: Держспоживстандарт України; 2009. 18 с.
5. ДСТУ 4525:2006 Кукурудза. Технічні умови. (із змінами згідно наказу Держспоживстандарту Зміна № 1 — № 326 від 12.09.2009). Київ: Держспоживстандарт України; 2009. 33 с.
6. Задорожна ОА, Герасимов МВ, Шиянова ТП. Хранение семян пшеницы мягкой в контролируемых условиях. Генетичні ресурси рослин. 2016; 19: 118—31.
7. Задорожна ОА, Єгоров ДК. Вплив низькотемпературних режимів зберігання насіння жита озимого на його господарські показники Проблеми кріобіології та кріомедицини. 2022; 32(2):111—20.
8. Задорожна ОА, Єгоров ДК. Зберігання зразків насіння жита (*Secale cereale* L.) у сховищі з нерегульованою температурою. Генетичні ресурси рослин. 2021; 29: 95—104.
9. Задорожна ОА, Шиянова ТП, Герасимов НВ. Особливості довготривалого зберігання насіння зразків генофонду жита. Генетичні ресурси рослин. 2014; 14: 105—14.
10. Задорожна ОА, Шиянова ТП, Скороходов МЮ. Зберігання насіння пшениці твердої (*Triticum durum* Desf.) у контрольованих умовах. Генетичні ресурси рослин. 2020; 26: 105—5.
11. Задорожная ОА., Богуславский РЛ. Влияние ускоренного старения семян на цитогенетические и морфологические показатели растений разных видов пшеницы. Цитология и генетика. 1998; 32(2): 20—30.
12. Хмельничий ЛМ, Супрун ІО. Основи біометрії. Київ: Видавничий центр НУБіП; 2010. 81 с.
13. Хорошайлов НГ, Жукова НВ. Длительное хранение коллекционных образцов семян. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1973; 49 (3): 269—79.
14. Chen L, Dong G, Song H, et al. Unveiling the molecular dynamics of low temperature preservation in postharvest lotus seeds: a transcriptomic perspective. BMC Plant Biol. [Internet]. 2024 Aug 07. [cited 2025 Mar 1]; 24: 755. Available from: <https://bmcplantbiol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12870-024-05468-9>
15. Dong T, Park Y, Hwang I Abscisic acid: biosynthesis, inactivation, homeostasis and signalling. Essays Biochem. 2015; 58: 29—48.
16. Eckhardt J, Vaidya A, Cutler S. Chemical disruption of ABA signaling overcomes high-temperature inhibition of seed germination and enhances seed priming responses. PLoS One. [Internet]. 2024 Dec 11; [cited 2025 Feb 27]; 19(12): e0315290. Available from: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0315290>
17. FAO. Genbank Standarts for Plant Genetic Resources for Food and Agriculture. Rev. ed. Rome. 2014 [Internet]. [Cited 2025 Feb 27]. Available from: <https://www.fao.org/4/i3704e/i3704e.pdf>
18. Geshnizjani N, Snoek BL, Willems LAJ, et al. Detection of QTLs for genotype × environment interactions in tomato seeds and seedlings. Plant Cell Environ. 2020; 43(8):1973—88.
19. Guan Y, Hwarari D, Korboe HM, et al. Low temperature stress-induced perception and molecular signaling pathways in plants. Environ Exp Bot. [Internet]. 2023 Mar, [cited 2025 Feb 27]; 207: 105190. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098847222004129>
20. Huo H, Wei S, Bradford KJ. DELAY OF GERMINATION1 (DOG1) regulates both seed dormancy and flowering time through microRNA pathways, Proc Natl Acad Sci USA. [Internet]. 2016 Mar 28. [cited 2025 Feb 25]; 113 (15) E2199-E2206. Available from: <https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.1600558113>
21. Liu F, Zhang H, Wu G, et al. Sequence variation and expression analysis of seed dormancy- and germination-associated ABA- and GA-related genes in rice cultivars. Front Plant Sci. [Internet]. 2011 Jun 03; [cited 2025 Feb 27]; 2:17. Available from: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2011.00017/full>

22. Reed RC, Bradford KJ, Khanday I. Seed germination and vigor: ensuring crop sustainability in a changing climate. *Heredity*. 2022; 128: 450—9.
23. Wang W, Su X, Tian Z, et al. Transcriptome profiling provides insights into dormancy release during cold storage of *Lilium pumilum*. *BMC Genomics* [Internet]. 2018 Mar 14 [cited 2025 Feb 27]; 19:196. Available from: <https://bmcbgenomics.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12864-018-4536-x>
24. Yan A, Chen Z. The Control of seed dormancy and germination by temperature, light and nitrate. *Bot Rev*. 2020; 86: 39—75.
25. Yu M, Luobu Z, Zhuoga D, et al. Advances in plant response to low-temperature stress. *Plant Growth Regul*. 2025; 105: 167—85.
26. Zadorozhna O. Some supplemental recommendations for the optimum moisture content of wheat seed for long-term storage. *Annual Wheat Newsletter*. Kansas State University. 2001; 47: 203—4.
27. Zadorozhna OA, Shyianova TP, Skorokhodov MYu. Barley seed storage under controlled conditions. *Genetični resursi roslin*. 2019; 25: 40—50.
28. Zadorozhna OA, Shyianova TP, Vakulenko SM. Seed viability level of maize genepool accessions after long-term storage. *Genetični resursi roslin*. 2013; 13: 85—96.
29. Zadorozhna OA, Yehorov DK, Zhmurko VV. Effects of different storage regimes on rye seed germination. *Plant Breeding and Seed Production*. 2020. 117: 68—79.
30. Zhao Y, Han G, Li Y, et al. Changes in quality characteristics and metabolites composition of wheat under different storage temperatures. *J Stored Prod Res*. [Internet]. 2024; [cited 2025 Mar 1]; 105: 102229. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022474X23001558>
31. Zhao Y, Qi T, Chaoyue C, et al. Effects of different storage temperatures on the quality and metabolome of maize with high moisture content. *LWT*. [Internet]. 2024 Dec 15 [cited 2025 Mar 1]; 214:117117. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643824014002>
32. Zhou L, Ullah F, Zou J, Zeng X. Molecular and physiological responses of plants that enhance cold tolerance. *Int J Mol Sci*. [Internet]. 2025 Jan 29; [cited 2025 Mar 1]; 26(3):1157. Available from: <https://www.mdpi.com/1422-0067/26/3/1157>

Отримано 31.03.2025

Прийнято до друку 11.09.2025

O.A. Zadorozhna \*, T.P. Shyianova

Yuriev Plant Production Institute of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine,

Kharkiv, Ukraine

\* olzador@ukr.net

## STORAGE OF CEREAL SEEDS AT 4 °C

Seed longevity was studied for wheat (*Triticum aestivum*): var. *erythrosperrum*, var. *lutescens* spring and winter bread; spring durum wheat (*Triticum durum*): var. *hordeiforme*, var. *leucurum*, var. *melanopus*, var. *alexandrinum*; winter rye (*Secale cereale*) subsp. *cereale* var. *vulgare*; spring barley (*Hordeum vulgare*): var. *nutans*, var. *erectum*, var. *rikotense*, var. *nudum*, var. *pallidum*; maize (*Zea mays*) subspecies: popcorn (*subsp. everta*), flint corn (*subsp. indurata*), dent corn (*subsp. indentata*), semident corn (*subsp. semidentata*), sweet (*subsp. saccharata*) when stored at a temperature 4°C and seed moisture content of 6-7%. We assessed the germination dynamics of 41 samples of these genotypes during storage for up to 10 years. For most samples, no significant differences in germination were found as compared to the initial one. In some cases, an increase in seed germination was observed after 4–8 years of storage. Variations in seed germination depending on sample genotype were tracked. The paper analyses differences in seed longevity of different cultivars of studied species and discusses the effect of low temperatures on seed longevity and expression of genes, especially those that enhance abscisic acid catabolism.

**Key words:** seeds, wheat, rye, barley, maize, low temperature, germination, longevity, abscisic acid.