Probl Cryobiol Cryomed 2022; 32(2):111–120
https://doi.org/10.15407/cryo32.02.111
оригінальне дослідження research article

УДК 536.485:633.14:631.563:
О.А. Задорожна*, Д.К. Єгоров

Вплив низькотемпературних режимів зберігання насіння жита озимого на його господарські показники

UDC 536.485:633.14:631.563:
O.A. Zadorozhna*, D.K. Yehorov

Influence of Low-Temperature Modes of Winter Rye Seed Storage on Its Yield-Related Traits

Реферат: Досліджено вплив різних режимів зберігання насіння селекційних зразків жита озимого (*Secale cereale L. subsp. cereale var. vulgare* Koern.) на його довговічність, показники схожості та структуру врожаю. Зразки насіння з вологістю 5–7% зберігалися в герметичній тарі строком до 42 місяців за температур 4 та –20°С. Контроль схожості та оцінка господарських показників рослин проводилися протягом трьох років згідно зі стандартними методиками. За результатами досліджень встановлено варіювання показників схожості насіння залежно від генотипу зразка. Не виявлено різниці за довговічністю насіння після 30 та 42 місяців зберігання за різних температурних режимів. Результати аналізу господарських показників рослин протягом двох-трьох послідовних років не показали істотних переваг впливу температури 4 чи −20°С на довжину колосу, кількість продуктивних колосів і масу зерна з колосу. Однак при цьому було встановлено відмінності для таких показників, як висота рослин і маса 1000 зернин в окремих випадках у рослин, насіння яких зберігалося за температур 4 чи −20°С.

Ключові слова: жито озиме, зернина, низька температура, зберігання, довговічність, вологість, схожість.

Abstract: The effect of different storage modes for the seeds of winter rye breeding sample (*Secale cereale* L. *subsp. cereale* var. *vulgare* Koern.) on its longevity, germination and crop structure was studied. Seed samples with a moisture content of 5–7% were stored in an airtight container for up to 42 months at 4 and –20°C. Control of plant germination and assessment of yield-related traits were carried out for three years according to standard methods. The research findings demonstrated the variation of seed germination depending on the sample genotype. No differences were noted in the longevity of seeds after 30 and 42 months of storage under various temperature regimens. The results of the analysis of yield-related traits of plants for two or three consecutive years did not show any significant advantages when influenced by 4 or –20°C on the spike length, number of productive stems and the mass of grain derived from the spike. However, at the same time, differences were found for plant height and weight of 1,000 grains in some cases in the seeds stored at temperatures of 4 or −20°C.

Key words: winter rye, grain, low temperature, storage, longevity, moisture, germination.

Жито посівне озиме (*Secale cereale* L. *subsp. cereale var. vulgare* Koern.) — важлива сільськогосподарська культура, яка традиційно застосовується в харчовій і кормовій галузях. Для сучасної селекції цієї культури використовується генофонд різноманітних зразків вихідного матеріалу, який, як правило, зберігається у вигляді насіння. Генофонд повинен зберігатися відповідно до затверджених загальних рекомендацій [8], згідно з якими для життєздатності насіння протягом середнього терміну (3–15 років) насіння необхідно тримати за відносної вологості повітря (15 ± 3)% і температури 5–10°С. Для довгострокового зберігання (до 100 років) насіння рекомендується закладати за такої ж вологості та температури (–18 ± 3)°С. За наявності технічних можливостей навіть активні колекції зразків жита можуть зберігатися за температури (−18 ± 3)°С, однак на сьогодні цей спосіб не дуже поширений.

Winter rye (*Secale cereale* L. *subsp. cereale var. vulgare* Koern.) is an important agricultural crop that is traditionally used in the food and fodder industries. For the modern breeding of this crop, a gene pool of various samples of the source material is used, which, as a rule, is stored as seeds. The gene pool should be storaged if meeting the approved general recommendations [3], according to which to yield the viable seeds during the medium term (3–15 years), they must be kept at a relative humidity of (15 ± 3)% and a temperature of 5–10°C. For long-term storage (up to 100 years), it is recommended to store the seeds at the same humidity and temperature –(18 ± 3)°C. If there are technical possibilities, even active collections of rye samples can be stored at a temperature of −(18 ± 3)°C, but today this method is not very common.

It is known that the longevity of seeds can be influenced by many factors simultaneously: the geno-

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

***Автор, якому необхідно надсилати кореспонденцію:**
проспект Героїв Харкова, 142, м. Харків, Україна, 61060;
тел.: (+38 098) 949-45-24
електронна пошта: olzador@ukr.net

Надійшла 29.07.2021
Прийнята до друку 18.05.2022

Plant Production Institute named after V.Ya. Yuriev of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

***To whom correspondence should be addressed:**
142, Heroiv Kharkova Ave., Kharkiv, Ukraine 61060;
tel.:+380 98 949 4524
e-mail: olzador@ukr.net

Received 29, July, 2021
Accepted 18, May, 2022

© 2022 O.A. Zadorozhna, *et al*. Published by the Institute for Problems of Cryobiology and Cryomedicine
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted reuse, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Відомо, що на довговічність насіння одночасно можуть впливати багато чинників: генотип зразка, умови року репродукції, режими зберігання тощо. Жито належить до мікробіотиків, тобто в природних умовах протягом трьох років втрачає схожість [2]. Науковці спостерігали низьку довговічність насіння з вологістю 3–5% після його зберігання протягом 30 років за температури −18°C [11]. Для інших культур встановлено наявність локусів кількісних ознак (QTL, Quantitative Trait Loci), які контролюють довговічність насіння [6]. Вирощене в спрятливі роки насіння має кращу довговічність порівняно з насінням, вирощеним в роки з надмірним зволоженням [3]. Умови формування насінин так само впливають на накопичення і склад поживних речовин [13]. На їхнє гірше формування у несприятливі роки діє експресія генів, змінена внаслідок дії чинників навколишнього середовища [7]. Існують дані про різну регуляцію експресії генів у період між 6 та 42 добами після запилення. За даними Y. Wan та співавт. [12], кількість і характер транскриптів на різних фазах розвитку може відрізнятися залежно від умов навколишнього середовища: диференціації (6–10 діб), наливу зерна (12–21 доба), достигання/висушування (28–42 доба). У спекотних і сухих умовах прискорюється розвиток насінин, з'являються специфічні транскрипти.

Для оптимізації зберігання зразків жита важливо встановити вплив температурного режиму зберігання на структуру врожаю, зокрема масу 1000 зернин. Результатів таких досліджень, навіть для інших культур, обмаль [1]. Проте відомо, що під час природного та штучного старіння у насінні можуть відбуватися різні зміни, зокрема пошкодження ДНК, які впливають на його життєздатність та експресію генів, що, в свою чергу, може позначитися на подальшому розвитку рослини. Результати RAPD- (random amplified polymorphic DNA) та MSAP- (methylation-sensitive amplification polymorphism) аналізів в умовах досліду «штучне старіння» насіння *Mentha aquatica* показали відмінність порівняно з контролем на 1 та 8% відповідно. У проростках із дослідного насіння спостерігали відмінність у 13 і 16% випадків [9]. За допомогою RAPD-аналізу встановлено високу генетичну стабільність насіння жита (*Secale cereale* L.) в умовах аналогічного досліду. Проте після 29 діб «штучного старіння» у проростків із дослідного насіння за допомогою MSAP-аналізу встановлено епігенетичні зміни у 15% зразків. Вважається, що з подовженням строку зберігання епігенетичні зміни збільшуються як у насінин, так й у проростків [10].

type of the sample, the year of reproduction, storage regimens, *etc.* Rye belongs to microbiotics, that is, in nature it loses its germination within three years [11]. Scientists observed a low durability of seeds with a moisture content of 3–5% after their storage for 30 years at −18°C [7]. For other crops, the presence of quantitative trait loci (QTL, Quantitative Trait Loci) that control seed longevity has been established [1]. Seeds grown in favorable years have better longevity compared to those grown in years characterized with excessive moisture [12]. The conditions of seed formation also affect the accumulation and composition of nutrients [13]. Their worse formation in unfavorable years is influenced by the expression of genes, changed as a result of environmental factors [2]. There are data on different regulation of gene expression between 6 and 42 days after pollination. Y. Wan *et al.* [9] reported that the number and nature of transcripts at different developmental phases may differ depending on environmental conditions: differentiation (6–10 days), grain filling (12–21 days), ripening/drying (28–42 days). In hot and dry conditions, the development of seeds accelerates, and specific transcripts appear.

To optimize the storage of rye sample, it is important to establish the influence of the storage temperature regimen on the crop structure, in particular the weight of 1,000 grains. The results of such studies even for other crops are scarce [10]. However, it is known that during natural and artificial aging, various changes can occur in seeds, in particular DNA damage, which affects its viability and gene expression, which, in turn, can influence further development of plants. The results of RAPD (random amplified polymorphic DNA) and MSAP (methylation-sensitive amplification polymorphism) analyses in the experimental 'artificial aging' of *Mentha aquatica* seeds showed difference compared to the control by 1 and 8%, respectively. Differences were observed in seedlings from experimental seeds in 13 and 16% of cases [6]. High genetic stability of rye seeds (*Secale cereale L.*) was established by means of RAPD analysis in a similar experiment. However, after 29 days of 'artificial aging', epigenetic changes were detected in 15% of the samples using MSAP analysis. It is believed that with the extension of the storage period, epigenetic changes are enhanced in both seeds and seedlings [7].

The research purpose was to establish the effect of storage of rye seeds at temperatures of 4 and –20°C on germination and crop structure.

Materials and methods

The research material was rye seeds of a simple sterile hybrid F1 Kharkivianka ChS (Kharkivianka

Мета роботи — встановлення впливу зберігання насіння жита за температур 4 та –20°С на показники схожості та структури врожаю.

Матеріали та методи

Матеріалом для досліджень було насіння жита простого стерильного гібриду F1 Харків'янка ЧС (Харків'янка ЧС) 2012 року врожаю, ліній л.90691 А, л.120337 Б, л.1201 А, л.1201 Б 2011 року врожаю. Дослід розпочато в лютому 2014 року, до цього насіння зберігалося у лабораторних умовах. На початку експерименту насіння висушували потоком повітря за температури не вище 25°С та відносної вологості повітря 25% з вихідної вологості насіння (9%) до 5–7%. Після висушування насіння закладали в герметичні пакети з багатошарової фольги у сховища з температурою 4 та −20°С на 42 місяці. Перед закладанням на експериментальне зберігання була оцінена схожість насіння, яка в подальшому вважалася вихідною. Через 18, 30 і 42 місяці зразки відбирали для контролю схожості та висівання в полі, щоб оцінити елементи структури врожаю. Оцінка схожості проводилася згідно з «Міжнародними правилами аналізу насіння» [4], а оцінка елементів структури врожаю — відповідно до загальноприйнятих методик [5]. Насіння висівали протягом вегетаційних періодів 2015/2016, 2016/2017, 2017/2018 років на дослідному полі Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН (ІР), яке розташоване у східній частині лісостепу України.

Показники температури і кількості опадів періоду вирощування насіння наведено на рис. 1.

Обробка результатів проводилася за допомогою методів варіаційної статистики. Для порівняння схожості в різних варіантах досліду використовували критерій вибіркових часток. Розбіжності у даних вважалися значущими при $p > 0{,}05$ за критерієм Стьюдента (t). Під час пошуку зв'язку між різними режимами зберігання та елементами структури врожаю визначали звичайну лінійну кореляцію та рангову кореляцію Спірмена. Для оцінки істотності кореляції використовували програму «Excel» (Microsoft, США).

Результати та обговорення

За результатами досліджень встановлено варіювання показників схожості насіння протягом зберігання за температур 4 та −20°С залежно від генотипу зразка. Так, схожість насіння гібриду Харків'янка ЧС з вологістю 5, 6 та 7% після зберігання за температури 4 та −20°С протягом 42 місяців у переважній більшості випадків істотно не змінилася (рис. 2). Схожість на-

ChS) harvested in 2012, lines l.90691 A, l.120337 B, l.1201 A, l.1201 B harvested in 2011. The experiment was launched in February 2014 with pre-storage of the seeds in laboratory. At the beginning of the experiment, the seeds were air flow-dried at a temperature not higher than 25°C and a relative humidity of 25% from the initial humidity of the seeds (9%) to 5–7%. After drying, the seeds were placed in airtight bags made of multi-layer foil for storage at 4 and −20°C for 42 months. Before placing in experimental storage, seed germination was assessed, which was later considered to be the original seed. After 18, 30 and 42 months, the samples were taken for germination control and sowing in the field to evaluate the elements of crop structure. The germination was assessed in accordance with the 'International Rules of Seed Analysis' [4], and the assessment of the crop structure elements using the traditional methods [5]. The seeds were sown during the growing seasons of 2015/2016, 2016/2017, 2017/2018 at the experimental field of the Plant Production Institute named after V. Ya. Yuriev of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine (PPI), located in the East of the forest-steppe of Ukraine.

The temperature indices and amount of precipitation during the seed growing period are shown in Fig. 1.

The results were processed using the methods of variational statistics. To compare the germination in different experiment variants, the criterion of sample proportions was used. Differences in data were considered significant at $p > 0.05$ according to Student's test (t). Ordinary linear correlation and Spearman's rank one were determined when looking for a relationship between different storage regimens and elements of yield components. The 'Excel' (Microsoft, USA) was used to assess the correlation significance.

Results and discussion

The research results showed the variation of seed germination during storage at temperatures of 4 and −20°C depending on the genotype of the sample. Thus, the seed germination of the Kharkivianka ChS hybrid with moisture content of 5, 6, and 7% after storage at temperatures of 4 and −20°C for 42 months in the vast majority of cases did not change significantly (Fig. 2). The seed germination of this hybrid varied individually: it increased by 14% for the seeds with a moisture content of 5% at temperature of 4°C and decreased by 28% for seeds with moisture content of 6% at temperature of −20°C after storage for 18 months. This can be explained either

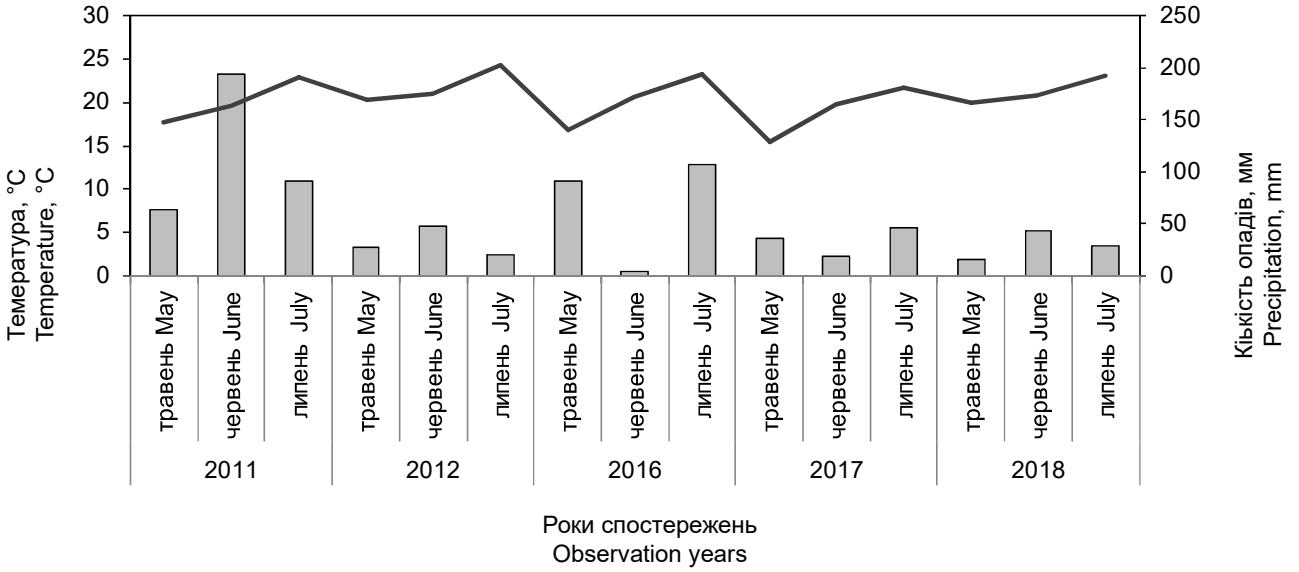

Рис. 1. Кількість опадів та температура за травень, червень, липень на дослідному полі (IP): ▫ — кількість опадів, ▬ — середньомісячна температура.

Fig. 1. Amount of precipitation and temperature for May, June, July on the experimental field (PPI): ▫ – amount of precipitation, ▬ – average monthly temperature.

сіння цього гібриду в окремих випадках варіювалася: збільшувалася на 14% у насіння з вологістю 5% за температури 4°С та зменшувалася на 28% у насіння з вологістю 6% за температури −20°С після зберігання протягом 18 місяців. Це може пояснюватися або фізіологічними наслідками цих варіантів досліду, або прихованою інфекцією. Після 30 та 42 місяців зберігання за режимів при температурах 4 та −20°С не виявлено відмінностей довговічності зразків: схожість насіння після зберігання протягом зазначеного терміну за відповідних температур істотно не відрізнялася.

Схожість насіння лінії л.90691 А з вологістю 5, 6 та 7% у переважній більшості випадків також суттєво не змінювалася після зберігання за температури 4 та −20°С протягом 42 місяців (рис. 3). Спостерігалося варіювання цього показника в окремих випадках, але тенденція відрізнялася від варіювання у гібриду Харків'янка ЧС. Вихідна схожість насіння л.90691 А була нижчою від гібриду Харків'янка ЧС на 27%, вважаємо, що це пов'язано з індивідуальною реакцією цієї лінії на більш вологі умови формування 2011 року (194 мм опадів у червні) порівняно з 2012 ро-

by the physiological consequences of these variants of the experiment, or by a hidden infection. After 30 and 42 months of storage at temperatures of 4 and −20°C, no differences in the longevity of the samples were found: seed germination after storage for the specified period at the corresponding temperatures did not differ significantly.

The seed germination of the l.90691 A line with moisture content of 5, 6, and 7% in the vast majority of cases also did not change significantly after storage at 4 and −20°C for 42 months (Fig. 3). This

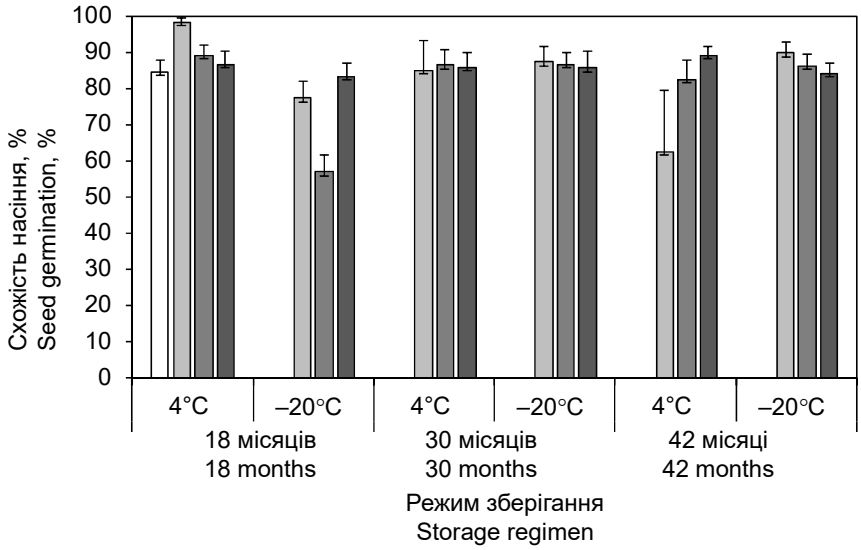

Рис. 2. Схожість насіння жита гібриду Харків'янка ЧС після відповідних режимів зберігання: ▫ — вихідна схожість, ▪ — за вологості 5%, ■ — за вологості 6%, ■ — за вологості 7%.

Fig. 2. Seed germination of hybrid Kharkivianka ChS after appropriate storage regimens: ▫ – initial germination, ▪ – 5 %humidity, ■ – 6% humidity, ■ – 7% humidity.

ком (48 мм опадів у червні) (див. рис. 1).

У результаті порівняння довговічності зразків жита однакової вологості після зберігання протягом 18 місяців за температур 4 та −20°С спостерігали перевагу зберігання насіння з вологістю 6% за температури −20°С та насіння з вологістю 7% за температури 4°С, що проявлялося у перевищені схожості на 13,9 та 31,5% відповідно.

Після зберігання насіння протягом 42 місяців за температур 4 та −20°С зауважувалася краща довговічність зразків з вологістю 5% за температури 4°С та з вологістю 6% за температури −20°С, що проявлялося у перевищенні схожості на 11 та 29,3% відповідно, на відміну від насіння гібриду Харків'янка ЧС після 42 місяців зберігання.

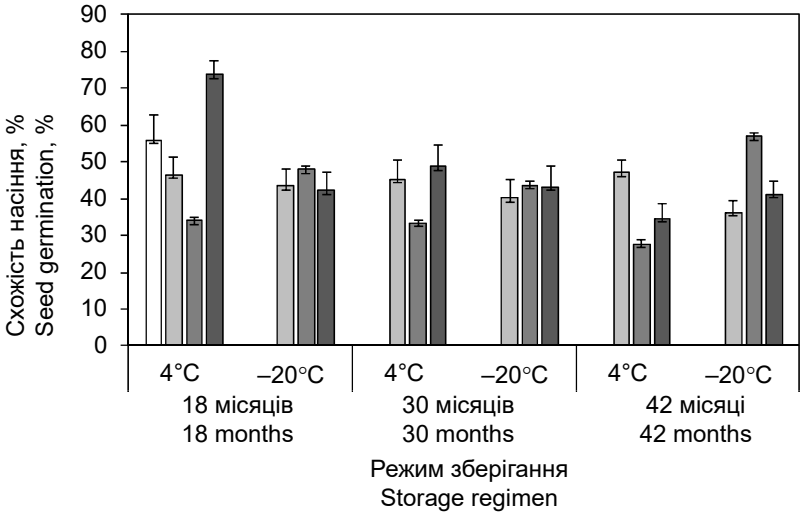

Рис. 3. Схожість насіння жита л.90691 А після відповідних режимів зберігання: □ — вихідна схожість, ■ — за вологості 5%, ■ — за вологості 6%, ■ — за вологості 7%.

Fig. 3. Germination of rye seeds l.90691 A after appropriate storage regimens: □ – initial similarity, ■ – 5% humidity, ■ – 6% moisture, ■ – 7% moisture.

Схожість насіння лінії л.120337 Б з вологістю 5, 6 та 7% у переважній більшості випадків також суттєво не змінювалася після зберігання за температур 4 та −20°С протягом 42 місяців (рис. 4). Разом з цим спостерігали варіювання схожості насіння в окремих випадках, але без стабільної тенденції.

Не виявлено стабільної переваги однієї з температур на довговічність насіння жита всіх рівнів вологості протягом 42 місяців зберігання.

parameter variation was observed individually, but the trend differed from the variation in the Kharkivianka ChS hybrid. The initial seed germination of l.90691 A was 27% lower than the Kharkivianka ChS hybrid, we believe that this is due to the individual response of this line to wetter conditions of formation in 2011 (194 mm of precipitation in June) compared to 2012 (48 mm of precipitation in June) (see Fig. 1).

As a result of comparing the longevity of rye samples of the same humidity after storage for 18 months at 4 and −20°C, the advantage of storing the seeds with moisture content of 6% at −20°C and the ones with moisture content of 7% at 4°C was observed, which was manifested in exceeded similarities by 13.9 and 31.5%, respectively.

After seed storage for 42 months at 4 and −20°C, higher longevity of samples with 5% moisture at 4°C and with 6% moisture at −20°C was observed, that was manifested in an excess of germination by 11 and 29.3 %, respectively, in contrast to the seeds of the hybrid Kharkivianka ChS after 42 months of storage

The seed germination of the l.120337 B line with moisture content of 5, 6, and 7% in

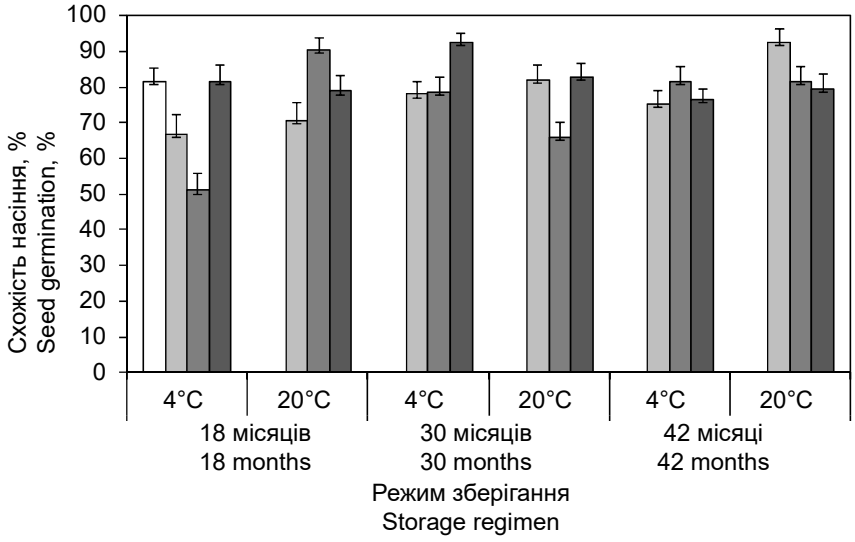

Рис. 4. Схожість насіння жита л.120337 Б після відповідних режимів зберігання: □ — вихідна схожість, ■ — за вологості 5%, ■ — за вологості 6%, ■ — за вологості 7%.

Fig. 4. Germination of rye seeds of l.120337 B after appropriate storage regimens: □ – initial similarity, ■ – 5% moisture, ■ – 6% moisture, ■ – 7% moisture.

ня. Разом з цим спостерігали варіювання схожості насіння в окремих випадках, але без стабільної тенденції.

Аналогічний аналіз схожості було проведено для зразків насіння л.1201 А та л.1201 Б (стерильної форми і закріплювача стерильності). Вихідна схожість насіння л.1201 А (86,1%) знизилася майже на 40% через 18 місяців зберігання за температур 4 та −20°С і знаходилася на цьому ж рівні через 30 місяців експерименту. Не виявлено відмінностей схожості насіння відповідної вологості та строку зберігання за температур 4 та −20°С. Вихідна схожість насіння л.1201 Б 82,3% істотно не змінювалася після зберігання насіння з рівнями вологості 5, 6, 7% за температур 4 та −20°С протягом 30 місяців. У насіння л.1201 Б також

the vast majority of cases also did not change significantly after storage at 4 and −20°C for 42 months (Fig. 4). At the same time, variations in seed germination were observed individually, but without a steady trend.

No stable advantage of one of the temperatures on the longevity of rye seeds of all moisture levels during 42 months of storage was found. At the same time, variations in seed germination were observed individually, but without a notable trend.

Germination was analyzed for the seed samples of l.1201 A and l.1201 B (sterile form and sterility fixer). Initial seed germination of l.1201 A (86.1%) decreased by nearly 40% after 18 months of storage at 4 and −20°C and remained at the same level after 30 months of the experiment.

Таблиця 1. Середні показники деяких елементів структури врожаю рослин після зберігання насіння за температур 4 та –20°С

Table 1. Average values of some elements of yield components after seed storage at 4 and –20°C

Зразок Sample	Довжина колосу, см Spike length, cm		Число продуктивних стебел, шт. Number of productive stems, p.		Продуктивність рослини, г Plant productivity, g		Маса зерна з колосу, г Mass of grain from spike, g	
	4°С	–20°С	4°С	–20°С	4°С	–20°С	4°С	–20°С
Харків'янка ЧС Kharkivianka ChS	9,8	9,7	7	6	9,81	9,29	1,42	1,38
л,90691 А L,90691 A	9,9	9,7	8	8	14,87	8,05	1,92	1,86
л,120337 Б L,120337 B	6,9	7,4	7	7	6,56	6,64	1,01	1,07
л,1201 А L, 1201 A	9,3	9,2	7	6	7,53	6,48	1,14	1,28
л,1201 Б L, 1201 B	9,5	9,2	6	5	8,40	5,31	1,55	1,57

не було виявлено відмінностей його схожості відповідної вологості й терміну зберігання за температури 4 та −20°С.

Результати аналізу елементів структури врожаю зразків Харків'янка, л.90691 А л.120337 Б, л.1201 А та л.1201 Б протягом двох-трьох послідовних років репродукції свідчать про відсутність істотного впливу температур 4 та −20°С на такі показники структури врожаю, як дов-

There were no differences in seed germination of the corresponding humidity and storage period at 4 and −20°C. Initial seed germination of l.1201 B, 82.3%, did not change significantly after seed storage at moisture levels of 5, 6, and 7% at 4 and −20°C for 30 months. For line of l.1201 B, there were also no differences in seed germination of the corresponding moisture and storage period at 4 and −20°C.

Таблиця 2. Висота рослин після зберігання насіння з різною вологістю протягом різних строків за температур 4 та –20°С, см

Table 2. Plant height after storage of seeds with different moisture content for different periods at 4 and –20°C, cm

Зразок Sample	Вологість, % Moisture, %	Режим зберігання, місяці Storage regimen, months					
		18		30		42	
		4°C	–20°C	4°C	–20°C	4°C	–20°C
Харків'янка ЧС Kharkivianka ChS	9,8	107,4	111,9	97,6	97,6	90,6	92,4
	6	117,2	110,3	96,7	88,8*	89,5	100
	7	113,4	113,4	99,3	81,2*	86,7	87,5
л. 90691 А L. 90691 A	5	116,3	117,9	103,9	103,54	101,6	97,9
	6	117,9	118,5	100,2	96,75	107,3	102,7
	7	112,5	105,3*	98,0	109,41*	104,1	101,6
л. 120337 Б L. 120337 B	5	100	109,6	101,9	112,41*	102,8	104,8
	6	119,94	114,3	112,6	105,06	102,6	94,88
	7	115,4	119,6	114,7	116,89	97,38	104,2
л. 1201 А L. 1201 A	5	109,25	107,2	86,66	97,6	90,6	92,4
	6	108,12	105,94	89,28	88,8*	89,5	100
	7	105,7	110,63	84,03	81,2*	86,7	87,5
л.1201 Б L. 1201 B	5	121,53	115,93	112,8	103,54	101,6	97,9
	6	102,69	108,56	110,8	96,75	107,3	102,7
	7	106,4	115,5*	115,1	109,41*	104,1	101,6

Примітка: * — відмінність значуща порівняно зі зразком насіння цього ж рівня вологості й строку зберігання, але за іншої температури (t > 1,98).

Note: * – significant difference compared to the sample of the same level of seed moisture content and storage term at other temperature (t > 1.98).

жина, кількість продуктивних колосів, маса зерна з колосу. Середні показники цих елементів структури врожаю рослин після зберігання насіння протягом 18, 30 та 42 місяців з різною вологістю за температур 4 та −20°С наведено в табл. 1.

Проте встановлено відмінності для таких показників, як висота рослин і маса 1000 насінин в окремих випадках (табл. 2, 3).

The findings for the elements of yield components of the samples of Kharkivianka, l.90691 A l.120337 B, l.1201 A and l.1201 B during two or three consecutive years of reproduction indicate the absence of significant advantages of the influence of temperatures of 4 and −20°C on such crop structure elements such as length, number of productive spikes, weight of grain from an spike. The average values of these

Таблиця 3. Маса 1000 зернин з рослин після зберігання насіння з різною вологістю протягом різних строків за температур 4 та –20°С, г

Table 3. Weight of 1,000 grains derived from plants after storage of seeds with different moisture content for various periods at 4 and –20°С, g

Зразок Sample	Вологість, % Moisture, %	Режим зберігання, місяці Storage regimen, months					
		18		30		42	
		4°С	–20°С	4°С	–20°С	4°С	–20°С
Харків'янка ЧС Kharkivianka ChS	5	32,2	31,0	39,4	30,25	32,7	35,2
	6	38,2	39,1	19,47	30,4*	29,6	30,8
	7	29,4	30,2	29,4	31,6*	25,7	34,3*
л. 90691 А L. 90691 A	5	33,49	42,83*	43,03	42,81	41,8	31,78*
	6	43,7	42,19	43,54	46,0*	42,2	41,4
	7	44,06	40,54	44,76	44,81	40,1	43,73*
л. 120337 Б L. 120337 B	5	19,68	24,24	26,76	25,23*	25,1	28,39*
	6	25,68	37,21	29,39	30,75	26,3	26,71
	7	31,0	31,1	26,68	26,46	25,6	25,7
л. 1201 А L. 1201 A	5	31,45	32,56	32,45	34,98*	–	–
	6	28,73	29,9	30,79	38,6*	–	–
	7	27,08	31,7	32,56	32,18	–	–
л.1201 Б L. 1201 B	5	31,45	32,56	34,58	36,35*	–	–
	6	28,73	29,9	35,1	34,55	–	–
	7	27,08	31,7	36,29	40,95*	–	–

Примітка: * — відмінність значуща порівняно зі зразком насіння цього ж рівня вологості й строку зберігання, але іншої температури (t >1,98).

Note: * – significant difference compared to the sample of the same level of seed moisture content and storage term at other temperature (t > 1,98).

Спостерігали істотне перевищення за висотою рослини в окремих випадках, коли насіння зберігалося за −20°С порівняно з насінням, що зберігалося за 4°С: л.1201 Б (вологість 7%), л.90691 А (вологість 7%), л.120337 Б, л.1201 Б (вологість 5% в обох випадках). У деяких варіантах, отриманих з насіння гібриду Харків'янка ЧС л.90691 А, після зберігання за −20°С встановлено істотне

elements of the plant yield structure after seed storage for 18, 30, and 42 months with different moisture at 4 and −20°С are shown in Table 1. However, the differences were established for such elements as plant height and weight of 1,000 seeds individually (Tables 2, 3). A significant rise in plant height was observed in some cases when the seeds were stored at −20°С compared to

зменшення висоти рослин на 7 см і нижче. Дані метеорологічних умов (див. рис. 1) свідчать про посушливий червень: кількість опадів 4,3 мм (2016 рік) та 18,6 мм (2017 рік) на відміну від 43,5 мм (2018 рік). Вважаємо, що такі метеорологічні умови впливали на більшу кількість відмінностей у висоті рослин різних генотипів у 2017 році, вирощених з насіння, яке зберігалося за температур 4 та −20°С протягом 30 місяців.

Зберігання насіння жита за температур 4 та −20°С у більшості випадків не вплинуло на масу 1000 зернин покоління рослин з цього насіння після 18 місяців зберігання (табл. 3). Після зберігання за цих температур протягом 30 місяців маса 1000 зернин була більшою у 47% випадків варіантів, насіння яких зберігалося за температури −20°С. Перевищення маси 1000 насінин коливалося від 1,7 до 10,9 г, при цьому не виявлено переваг певного рівня вологості в межах 5–7%. Після 42 місяців зберігання істотно вищі показники маси 1000 зернин були в 38% варіантів серед зразків, насіння яких зберігалося за температури −20°С, рівень вологості при цьому на отримані результати також суттєво не впливав.

Середня температура в червні 2016–2018 років коливалася в межах 20–23°С. Кількість опадів у липні 2017 року майже вдвічі перевищувала кількість опадів у червні, у 2018 році — навпаки. Кількість опадів у червні 2016 року була майже удвічі меншою, ніж у липні того ж року. Вважаємо, що таке співвідношення у червні–липні могло вплинути на варіювання формування маси 1000 зернин у різні роки.

Таким чином, у досліджених зразках жита після 30 і 42 місяців зберігання за −20°С виявлено більшу масу 1000 зернин порівняно зі зразками, які зберігалися за температури 4°С, майже у 40% випадків. Така залежність спостерігалася після 18 місяців зберігання і в досить посушливі роки (див. рис. 1).

Для всіх трьох строків зберігання насіння не виявлено істотної кореляції між такими показниками структури врожаю, як висота рослин, маса 1000 зернин та відповідний режим зберігання насіння.

Висновки

Таким чином, не виявлено наочної переваги температури 4 чи −20°С та рівня вологості в межах 5–7% для довговічності досліджених зразків насіння жита озимого протягом 42 місяців зберігання. Результати аналізу елементів структури врожаю досліджених зразків жита озимого

the ones stored at 4°C: L.1201 B (moisture 7%), l.90691 A (moisture 7%), L.120337 B, L.1201 B (moisture 5%). In some variants obtained from the seeds of the Kharkivianka ChS hybrid, l.90691 A, after storage at −20°C, a significant decrease in plant height by 7 cm or less was observed. Meteorological data (see Fig. 1) indicate a dry June: the amount of precipitation is 4.3 mm (2016) and 18.6 mm (2017), in contrast to 43.5 mm (2018). We believe that such meteorology influenced greater the number of differences in the height of plants of different genotypes in 2017, grown from the seeds stored at 4 and −20°C for 30 months.

Storage of rye seeds at 4 and −20°C in most cases did not affect the mass of 1,000 grains when generating the plants from this seed after 18 months of storage (Table 3). After storage at these temperatures for 30 months, the weight of 1,000 grains was greater in 47% of the cases of variants, the seeds of which were stored at −20°C. The excess weight of 1,000 grains ranged from 1.7 to 10.9 g, while no advantages were found for a certain level of moisture in the range of 5–7%. After 42 months of storage, the 1,000-grain mass values were significantly higher in 38% of the varieties among the samples the seeds of which were stored at −20°C, while the moisture level also did not significantly affect the obtained results.

The average temperature in June 2016–2018 varied between 20–23°C. The amount of precipitation in July 2017 was almost double the amount of precipitation in June; in 2018 that was the opposite. The amount of precipitation in June 2016 was almost half as much as in July of the same year. We believe that such a ratio in June–July could affect the variation in the formation of the mass of 1, 000 grains in different years.

Thus, in the investigated rye specimens after 30 and 42 months of storage at −20°C, a greater mass of 1,000 grains was found compared to those stored at 4°C in almost 40% of cases. Such dependence was observed after 18 months of storage and in fairly dry years (see Fig. 1).

For all three terms of seed storage, no significant correlation was noted between such elements of crop structure as plant height, weight of 1,000 grains and the corresponding mode of seed storage.

Conclusions

Thus, no obvious advantage of using the temperature 4 or −20°C and moisture level within 5–7% for the longevity of the studied specimens of winter rye seeds during 42 months of storage

протягом двох-трьох послідовних років репродукції свідчать про відсутність істотних переваг впливу температури зберігання (4 чи −20°С) на такі показники структури врожаю, як довжина колосу, кількість продуктивних колосів, продуктивність рослини. В окремих випадках встановлено відмінності за висотою рослин, отриманих з насіння, яке зберігалося за температур 4 та −20°С протягом 42 місяців. Збільшення маси 1000 зернин спостерігали у 38% випадках зразків, отриманих з насіння, яке зберігалося за температури −20°С протягом 30 та 42 місяців.

was found. The findings on the crop structure elements for the studied samples of winter rye during two or three consecutive years of reproduction indicate the absence of significant advantages of the influence of the storage temperature (4 or −20°C) on the crop structure, such as the spike length, number of productive stems, plant productivity. In some cases, differences in the height of plants obtained from seeds that were stored at temperatures of 4 and −20°C for 42 months were found. An increase in the weight of 1,000 grains was observed in 38% of the samples obtained from the seeds stored at −20°C for 30 and 42 months.

Література

1. 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.
2. Задорожна ОА, Шиянова ТП, Герасимов НВ. Особливості довготривалого зберігання насіння зразків генофонду жита. Генетичні ресурси рослин. 2014; (14): 105–14.
3. Задорожна ОА, Шиянова ТП, Скороходов МЮ. Зберігання насіння пшениці твердої (*Triticum durum* Desf.) у контрольованих умовах. Генетичні ресурси рослин. 2020; (26): 105–15.
4. Международные правила анализа семян. Москва: Колос; 1984. 311 с.
5. Методика державного випробування сортів рослин на придатність до поширення в Україні. В: Охорона прав на сорти рослин. Київ: Алефа; 2003: 191–203.
6. Arif MAR, Börner A. Mapping of QTL associated with seed longevity in durum wheat (*Triticm durum* Desf.). J Appl Genet. 2019; 60(1): 33–6.
7. Dupont FM, Altenbach SB. Molecular and biochemical impacts of environmental factors on wheat grain development and protein synthesis. J Cereal Sci. 2003; 38(2): 133–46.
8. FAO. Genebank Standards for plant genetic resources for food and agriculture. Rome: FAO; 2014. [Internet]. [дата звернення 2021 червень 20]. Available from: https://www.fao.org/3/a-i3704e.pdf
9. Mira S, Pirredda M, Martin-Sanchez M, et al. DNA methylation and integrity in aged seeds and regenerated plants. Seed Sci Res. 2020; 30(2): 92–100.
10. Pirredda M, Gonzalez-Benito ME, Martin C, Mira S. Genetic and epigenetic stability in rye seeds under different storage conditions: ageing and oxygen effect. Plants. [Internet]. 2020 Mar 23 [cited 2021 May 12]; 9(3): 393. Available from: https://www.mdpi.com/2223-7747/9/3/393
11. Solberg SV, Brodal G, Bothmer R, et al. Seed germination after 30 years storage in permafrost. Plants. [Internet]. 2020 May 2 [cited 2021 May 12]; 9(5): 579. Available from: https://www.mdpi.com/2223-7747/9/5/579
12. Wan Y, Poole RL, Huttly AK, et al. Transcriptome analysis of grain development in hexaploid wheat. BMC Genomics. [Internet]. 2008 Mar 06 [cited 12.05.2021]; 9: 121. Available from: https://bmcgenomics.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2164-9-121
13. Zhao C, He M, Wang Z, et al. Effects of different water availability at post-anthesis stage on grain nutrition and quality in strong-gluten winter wheat. C R Biol. 2009; 332(8): 759–64.

References

1. Arif MAR, Börner A. Mapping of QTL associated with seed longevity in durum wheat (*Triticm durum* Desf.). J Appl Genet. 2019; 60(1): 33–6.
2. Dupont FM, Altenbach SB. Molecular and biochemical impacts of environmental factors on wheat grain development and protein synthesis. J Cereal Sci. 2003; 38(2): 133–46.
3. FAO. Genebank Standards for plant genetic resources for food and agriculture. Rome: FAO; 2014. [Internet]. [cited 2021 Jun 20]. Available from: https://www.fao.org/3/a-i3704e.pdf
4. [International rules for seed testing]. Moscow: Kolos; 1984. 311 p. Russian
5. [Method of state plant variety trials for suitability for dissemination in Ukraine]. In: [Protection of rights to plant varieties]. Kyiv: Alefa; 2003. p. 191–203. Russian
6. Mira S, Pirredda M, Martin-Sanchez M, et al. DNA methylation and integrity in aged seeds and regenerated plants. Seed Sci Res. 2020; 30(2): 92–100.
7. Pirredda M, Gonzalez-Benito ME, Martin C, et al. Genetic and epigenetic stability in rye seeds under different storage conditions: ageing and oxygen effect. Plants. [Internet]. 2020 Mar 23 [cited 2021 May 12]; 9(3): 393. Available from: https://www.mdpi.com/2223-7747/9/3/393
8. Solberg SV, Brodal G, Bothmer R, et al. Seed germination after 30 years storage in permafrost. Plants. [Internet]. 2020 May 2 [cited 2021 May 12]; 9(5): 579. Available from: https://www.mdpi.com/2223-7747/9/5/579
9. Wan Y, Poole RL, Huttly AK, et al. Transcriptome analysis of grain development in hexaploid wheat. BMC Genomics. [Internet]. 2008 Mar 06 [cited 12.05.2021]; 9: 121. Available from: https://bmcgenomics.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2164-9-121
10. Zadorozhnaya OA, Boguslavsky RL. [Influence of accelerated aging of seeds on cytogenetic and morphological plant parameters of different wheat species]. Tsitol Genet. 1998; 32(2): 20–30. Russian
11. Zadorozhna OA, Shyianova TP, Herasimov NV. [Features of long term seed storage of rye genepool accessions]. Genetichnì resursi roslin. 2014; (14): 105–14. Ukrainian
12. Zadorozhna OA, Shyianova TP, Skorokhodov MYu. [Seed storage of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under controlled conditions]. Genetichnì resursi roslin. 2020; (26): 105–15. Ukrainian
13. Zhao C, He M, Wang Z, et al. Effects of different water availability at post-anthesis stage on grain nutrition and quality in strong-gluten winter wheat. C R Biol. 2009; 332 (8): 759–64.