

## ОЦІНКА РІЗНИХ ГЕНОТИПІВ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО ДО ДІЇ НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУР

Ю.С. Вітковська, І.О. Полякова \*

*Інститут олійних культур НАН України*

*\* Запорізький національний університет*

У статті наведені результати оцінки холодостійкості 26 генотипів льону олійного методом холодого пророщування насіння. Відповідно до результатів дослідження сорти, лінії та зразки розділені на 5 груп: найстійкіші, високостійкі, середньостійкі, низькостійкі та нестійкі. Виявлено, що найвищий рівень резистентності до гіпотермічного стресу мають генотипи Водограй, Sideral, *Linum bienne*, A-11 і B-11, які є найбільш селекційно цінними донорами генів холодостійкості.

**Ключові слова:** льон олійний, гіпотермія, генотип, холодостійкість, проростання, оцінка.

**Вступ.** Низька температура є одним з головних абіотичних факторів, що лімітує продуктивність та поширення сільськогосподарських рослин. Створення сортів та ліній, які характеризуються стійкістю до низькотемпературного стресу є актуальним напрямком селекції та проводиться на багатьох економічно рентабельних культурах.

За умови холодого впливу в рослин з'являються видимі симптоми, такі як в'янення, хлороз та некроз. Низькотемпературний стрес істотно впливає на клітинну мембрану, спричиняючи її деполаризацію внаслідок зміни потоку електронів та зміну білково-ліпідного складу. У клітинах відбувається втрата електролітів та амінокислот, підвищення вмісту кальцію у цитоплазмі, зниження активності ферментів, фосфорилування білків тилакоїдів тощо. Оскільки хлоропласти є чутливими до холоду органелами, тривала низькотемпературна дія прискорює руйнування хлорофілу. На фізіологічному рівні цей різновид абіотичного стресу пригнічує фотосинтез внаслідок зменшення використання вільної енергії (Ghoreishi et al. 2017).

В останні роки значно зріс інтерес до льону олійного, зокрема, через значний експортний попит на насіння та олію, яка широко використовуються у харчовій, хімічній та фармацевтичній промисловості. Лляна олія характеризується високим вмістом есенціальних поліненасичених жирних кислот, які використовуються як харчова добавка людини, що має антисклеротичну дію. Олія насіння цієї культури збагачена  $\alpha$ -ліноленою та  $\alpha$ -лінолевою кислотою (ALA та LA). З цієї причини лляна олія легко полімеризується під впливом кисню, що робить її корисним для виготовлення різних промислових продуктів, наприклад, лаку і лінолеуму; а їжа з пресованого насіння корисна в якості корму для тварин. Високий вміст  $\alpha$ -лінолевої кислоти зумовлює лляну олію цінним джерелом омега-3 кислот. Доведено, що високий рівень ALA та LA в раціоні може знизити рівень розвитку раку та серцево-судинних захворювань, зокрема, атеросклерозу. ALA також має виражену

антидепресивну дію. Крім цього,  $\alpha$ -ліноленова кислота є попередником довголанцюгових поліненасичених жирних кислот: ейкозапентаєнової та докозагексаєнової. Ці жирні кислоти позитивно впливають на ліпідний склад мозку, зір, нейротрансмісію, поведінкові та когнітивні функції; а також чинять важливий вплив на внутрішньоутробний розвиток. Ляна олія визнана також цінним джерелом аланіну для людини (Hall et al. 2010, Pellet, Voullioud 2004).

В Україні льон належить до культур раннього висіву, отже, рослини постійно зазнають негативного впливу холоду на ранніх стадіях вегетації. Згідно досліджень, які проводились раніше, тривалий вплив низьких позитивних температур спричиняє затримку росту, подовження стебел, пізні цвітіння. Низькі негативні температури є причиною загибелі листя та стебел рослин. Можливість більш раннього посіву цієї культури (у так звані «лютнево-березневі вікна») дозволить рослинам ефективно використовувати вологу для вегетативних та генеративних процесів та уникнути водного стресу в середині літа (Poliakova, Vitkovska 2017).

Окремим надзвичайно перспективним напрямком селекції є створення озимих сортів льону. Є дані, що паростки цієї культури здатні витримувати охолодження до  $-3^{\circ}\text{C}$ , а окремі сорти – до  $-10^{\circ}\text{C}$  взимку та до  $-6^{\circ}\text{C}$  весною, що свідчить про можливість пошуку агентів резистентності до низьких температур роду *Linum* L. (Pellet, Voullioud 2004, Bonner et al. 1993).

Згідно численних досліджень, стійкість рослин до різноманітних абіотичних факторів є генетично зумовленою ознакою (Levchuk, Voitovich 2009). Отже, першочерговим вектором створення сортів є пошук резистентних генотипів.

Метою нашої роботи є вивчення резистентності до низької температури генотипів льону олійного різного географічного походження та пошук донорів холодостійкості для подальшої селекційної роботи.

### **Матеріали та методи дослідження**

Матеріалом дослідження були 26 зразків льону олійного різного географічного та генетичного походження: шість українського (Південна Ніч, Айсберг, Водограй, В-11, А-11, № 38124); п'ять російського (Иссыкульский (К-7481), Южный Алтай (К-1353), Бахмальский (К-6056), Северный (К-8156), Дюшес (К-7154)); один білоруського (Солнечный); один французького (Sideral); шість канадського (К-6875, К-4037, IU33173, Saskatoon, К-8085, Norstar); сім американського (Linota, Culbert, NPR 714, Texas, Skyscraper) та дикорослий однорічний вид *L. bienne*.

Оцінку холодостійкості досліджуваних генотипів льону олійного проводили методом холодого пророщування насіння в лабораторних умовах за температури  $3^{\circ}\text{C}$  (Mishchenko et al. 1998; Chirkova 2002).

Данні статистично обробляли (Lakin 1990).

### **Результати досліджень та їхнє обговорення**

На різних культурних рослинах доведено, що зміна рівня фізіологічних процесів і функцій при дії низьких позитивних температур може служити діагностичним показником при порівняльній оцінці холодостійкості генотипів (Chirkova 2002, Sergeeva, Komisarenko 2013).

Нами проведено визначення впливу низької позитивної температури на проростання насіння льону олійного. Для порівняння було проведено оцінку проростання у контрольних умовах при  $22^{\circ}\text{C}$  і встановлено, що усі досліджувані

генотипи мали дуже високий відсоток проростання (не менше 92%) (табл.1). Енергію проростання контрольного насіння встановлювали на 3 добу з початку досліду, хоча більшість генотипів мала високий її рівень вже на 2 добу.

Для проведення досліду нами було обрано генотипи, які мають переважно північне географічне походження, або які раніше виявляли резистентність до гіпотермії, наприклад, сорт Sideral (Tavarini et al. 2016). Енергію проростання насіння за умови гіпотермії визначали на 4 добу з початку досліду. Ця експозиція дозволила одержати найбільш контрастні дані у порівнянні з третьою та п'ятою добою. Нами встановлено, що під час холододового пророщування насіння льону на 3 добу зародкові корінці мали 10% усіх генотипів; на 5 добу вже 90%. Таким чином, нами було визначено, що тривалість впливу низької позитивної температури 3°C в 4 доби для проведення оцінки генотипів льону олійного до гіпотермічного стресу методом холододового пророщування є найбільш прийнятною.

Результати одержаних даних наведені у таблиці.

Таблиця

**Вплив холододового пророщування (3°C) на проростання насіння льону олійного, % (2017-2018 рр.)**

Генотип	Контроль	Дослід
Південна Ніч	97,3 ± 0,94	83,3 ± 6,5*
Айсберг	92,0 ± 0,9	86,7 ± 1,9*
Водограй	98,0 ± 0	97,0 ± 0,48*
В-11	97,3 ± 0,54	95,3 ± 1,1
А-11	94,3 ± 1,4	96,7 ± 0,27
№38124	92,0 ± 0,9	48,0 ± 3,41***
Sideral	98,0 ± 0,9	96,7 ± 0,54
<i>Linum bienne</i>	94,6 ± 1,4	91,3 ± 4,65
Солнечный	94,7 ± 0,54	58,7 ± 0,54***
Южный Алтай	94,0 ± 1,1	50,1 ± 1,8***
Иссыкульский	97,3 ± 1,44	62,0 ± 0,9***
Бахмальский	92,7 ± 0,54	60,0 ± 1,1***
Северный	95,3 ± 1,44	60,0 ± 0,9***
Дюшес	92,7 ± 0,54	56,0 ± 0,9***
К-6875	98,0 ± 1,1	53,3 ± 1,43***
К-4037	94,0 ± 1,62	51,3 ± 1,96***
К-8085	99,3 ± 0,54	68,0 ± 0,9***
IU 33173	95,3 ± 1,44	48,7 ± 1,44***
Saskatoon	98,0 ± 0,9	54,0 ± 2,83***
Norstar	97,3 ± 0,54	52,7 ± 1,44***
Linota	94,7 ± 0,54	47,3 ± 0,54***
Culbert	98,0 ± 0,9	56,0 ± 0,9***

Продовження табл. 1		
NPR 714	95,3 ± 0,54	54,0 ± 1,89***
Texas	94,6 ± 1,44	58,0 ± 0,9***
Skyscraper	95,7 ± 0,27	49,0 ± 4,32***
Normandy	98,0 ± 1,62	58,0 ± 0,9***

Примітки: \*,\*\*\* - відмінності від контролю суттєві при P < 0,05 і 0,001 відповідно

Відповідно до результатів дослідження, нами було розподілено досліджувані генотипи за стійкістю до низької позитивної температури на 5 груп: 1 – найстійкіші (схожість ≥ 90%); 2 – високостійкі (89-80%); 3 – середньостійкі (79-60%); 4 – низькостійкі (59-50%) та 5 – нестійкі (<50%).

Більш наочно спостерігати розподіл генотипів за групами можна на гістограмах (рис.).

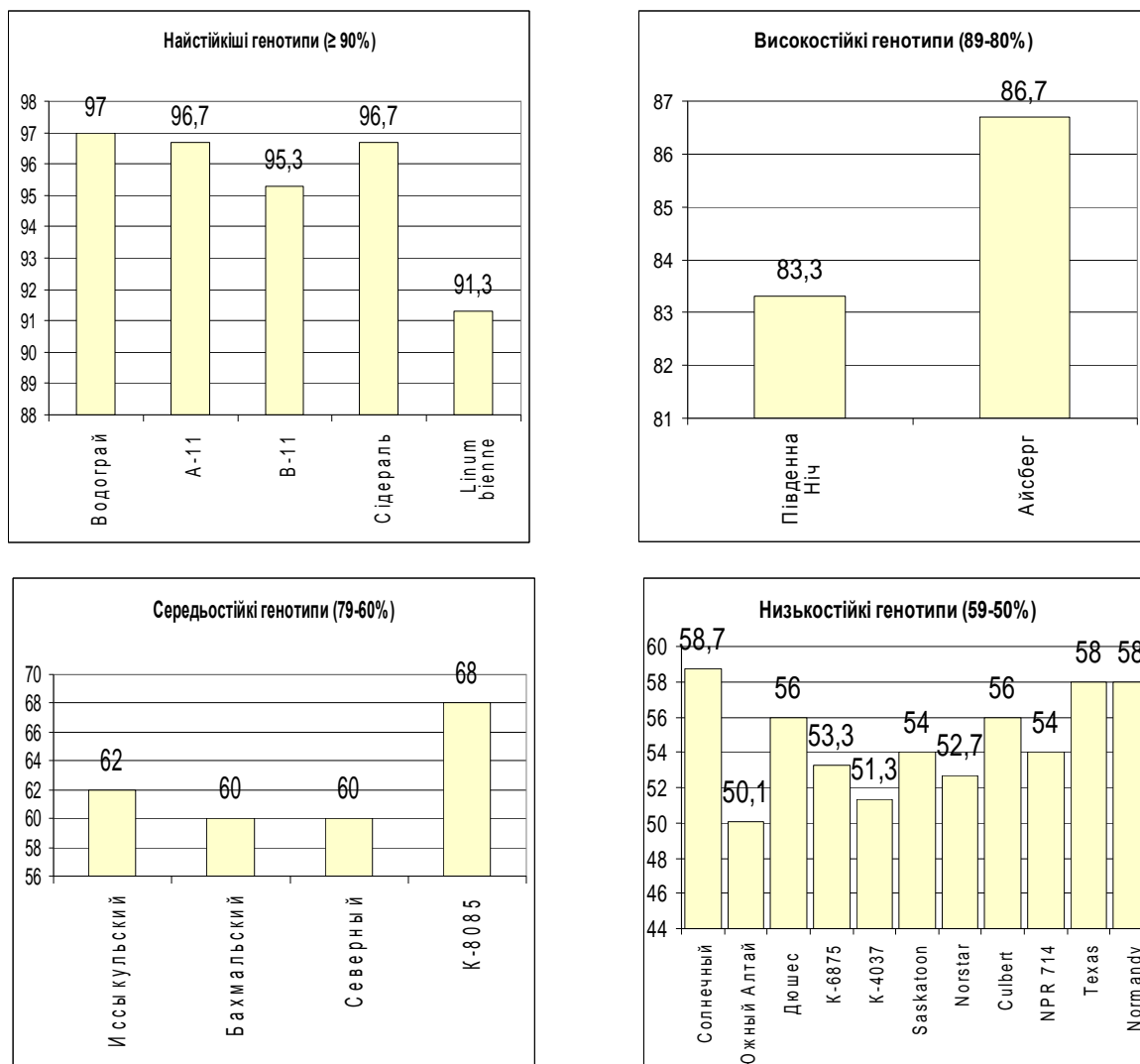


Рис. Розподіл генотипів льону олійного по групам за стійкістю до холоду (2017-2018 рр.)

Найстійкіша група представлена 5 генотипами: Водограй (97%), A-11 (96,7%), Sideral (96,7%), B-11 (95,3%) та дикорослий вид *Linum bienne* (91,3%).

Згідно з даними Silvia Tavarini et al. Sideral – це сорт зареєстрований у Загальному каталозі сортів ЄС, оцінений у Франції, який має підвищену стійкість до знижених температур та дуже рано дозріває. Дослідники відмічають високий рівень виживаності рослин генотипу Sideral у зимовий період в областях Тоскана та Емілія-Романья (Tavarini et al. 2016).

*Linum bienne* – це дикий вид, який відносять до напівозимих та озимих. Його назва перекладається як дворічний, або зимуючий Цей вид відомий розповсюдженням у Західних та деяких Північних регіонах Європи (Kutuzova 1998), які характеризуються більш низькими середньорічними температурами у порівнянні з такими показниками південного сходу України.

Зразки А-11 та В-11 – міжвидові гібриди з дикорослими однорічними видами *Linum angustifolium* L. та *Linum bienne*. Оригіномом цих гібридів виступає Запорізький національний університет (Poliakova, Gudoshnik 2015). Імовірно, що ці лінії успадкували гени холодостійкості від дикорослих видів.

Також досить високий рівень толерантності до гіпотермії демонструють два генотипи, які увійшли до високостійкої групи: Айсберг (86,7%) та Південна ніч (83,3%). Ці сорти були створені як оптимально адаптовані до типових умов Запорізької області і є затребуваними комерційними сортами.

Середньостійка група представлена чотирма генотипами, до якої увійшли 3 сорти російського походження: Исыкульский (62%), Бахмальский (60%), Северный (60%) та 1 зразок канадського походження – К-8085 (68%). Показники їх гіпотермічної резистентності, ймовірно, пояснюються тим, що ці зразки були створені та апробовані в менш жорстких кліматично-едафічних умовах. Так, генотипи Северный та Исыкульский створені на базі Сибірської дослідної станції, що розташована в Омській області. Сорт Бахмальский апробований на території Узбекистану, а К-8085 створений у Канаді.

Найчисленнішою виявилась низькостійка група, до якої увійшли 11 генотипів різного географічного походження: 1 білоруського – Солнечный (58,7%), 2 російського – Южный Алтай (50,1%) та Дюшес (56%), 4 канадського – К-6875 (53,3%), К-4037 (51,3%), Saskatoon (54%) та Norstar (52,7%) і 4 американського – Culbert (56%), NPR 714 (54%), Texas (58%), Normandy (58%).

Найменший рівень стійкості до гіпотермічного стресу спостерігаються у генотипів №38124 (Україна) – 48%, IU 33173 (Канада) – 48,7%, Linota та Skyscraper (США), відповідно 47,3% та 49%. Ці 4 генотипи увійшли до нестійкої групи, яку ми сформуваємо для подальших досліджень можливостей підвищення рівня стійкості до холодного стресу через їх залучення до гібридизації з генотипами, які мають найвищий рівень стійкості до цього стресу.

Проведена оцінка та розподіл досліджуваних генотипів на групи за резистентністю до гіпотермічного стресу можуть будуть використані у подальшій генетико-селекційній роботі зі створення цінного селекційного матеріалу льону олійного з підвищеною холодостійкістю.

### **Висновки**

1. Проведена оцінка 26 генотипів льону олійного різного географічного та генетичного походження до гіпотермії методом холодного пророщування насіння, та розподілено їх на 5 груп: найстійкіші (схожість  $\geq 90\%$ ), високостійкі (89-80%), середньостійкі (79-60%), низькостійкі (59-50%) та нестійкі ( $\leq 49\%$ ).

2. Найбільшу стійкість до впливу низької позитивної температури продемонстрували сорт Водограй (97%), зразки А-11 (96,7%) та В-11 (95,3%), сорт Sideral (96,7%) та дикорослий вид *Linum bienne* (91,3%). Ці генотипи є

найперспективнішими для подальших досліджень фізіологічних та генетичних основ стійкості рослин льону олійного до гіпотермії.

3. Досить високу стійкість до гіпотермічного стресу виявили сорти Айсберг (86,7%) та Південна Ніч (83,3%), які також є перспективними для створення холодостійких ліній та сортів льону олійного.

4. Найменшу стійкість до впливу холоду виявили 4 генотипи: №38124 (48%), IU 33173 (48,7%), Linota та Skyscraper (відповідно 47,3% та 49%).

### References

1. Ghoreishi M, Rahmani F, Mandoulakani BA, Gorttapeh AH (2017) Impact of variety on resistance to cold stress at physiological levels in *Linum usitatissimum*. POJ 10(05):269-276.
2. Hall LN, Booker H, Siloto RMP, Jhala AJ, Weselake RJ (2010) Flax (*Linum usitatissimum*): Current uses and future applications. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 10:4304-4312.
3. Pellet D, Vullioud P (2004) Lin d'hiver ou de printemps: une culture a decouvrir. Agroscope RAC Changins 36(3):109-116.
4. Poliakova IO, Vitkovska YuS (2017) Perspektivy stvorennia sortiv l'onu oliinoho z pidvyshchenoiu kholodostiikistiui (Prospects for the creation of oilseed flax with improved cold resistance). Suchasni problemy biolohii, ekolohii ta khimii: zbirnyk materialiv V Mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii, prysviachenoii 30-richchiu biolohichnoho fakultetu Zaporizkoho natsionalnoho universytetu 1:43-45.
5. Bonner DM, Gubbles G.H, Kenaschuk EO (1993) Frost tolerance of maturing flax. Can. J. Plant Sci. 73:167-170.
6. Levchuk HM, Voitovych OM (2009) Reaktsiia riznykh henotypiv lonu oliinoho na diiu riznykh abiotychnykh faktoriv (The reaction of different genotypes of oil flax to abiotic factors). Naukovo-tekhnichnyi biuleten Instytutu oliinykh kultur NAAN 14:130-136.
7. Chirkova TV (2002) Fiziologicheskie osnovy ustoychivosti rasteniy: Uchebnoe posobie dlya studentov biologicheskikh fakultetov vuzov (Physiological basis of plant resistance: A manual for students of biological faculties of universities). Sankt-Peterburg. SPbGU, pp 148-164.
8. Mischenko LYu, Soroka AI, Lyah VA (1998) Seleksiya holodoustoychiviyh genotipov v muzhskom gametofitnom pokolenii u lna maslichnogo. Zaporizhzhya. ZbIrnik naukovih prats, s. 34-38.
9. Lakin GF (1990) Biometriya (Biometrics). Moskva. Vysshaya shkola, pp 111-134.
10. Sergeeva LE, Komisarenko AG, Bronnikova LI, Mihalskaya SI, Tischenko EN (2013) Soderzhanie svobodnogo prolina v tkanyah podsolnechnika pri realizatsii morfogeneticheskogo potentsiala in vitro (The free proline content of the sunflower tissues throughout the morphogenesis in vitro). Biotechnologia Acta 6(1):113-118.
11. Tavarini S., Angelini L., Casadei N., Spugnoli P., Lazzeri L. (2016) Agronomical evaluation and chemical characterization of linum as oilseed crop of bio-based products in two environments of Central and Northern Italy. Italian Journal of Agronomy 11(735):122-132.
12. Kutuzova SN (1998) Genetika l'na (Genetics of flax). Sankt-Peterburg. VIR, pp 6-52.
13. Polyakova IA, Gudoshnik MN (2015) Sravnitel'naya harakteristika novyih liniy lna, poluchennyih metodom mezhhvidovoy gibridizatsii (Comparative

characteristics of new lines of flax obtained by interspecific hybridization). Aktual'ni pitannya biologiyi, ekologiyi ta himiyi: elektronne naukove vidannya. Zaporiz'kiy natsionalniy universitet 9(1):34-36.

## ОЦЕНКА РАЗНЫХ ГЕНОТИПОВ ЛЬНА МАСЛИЧНОГО К ДЕЙСТВИЮ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

Ю.С. Витковская, И.А. Полякова<sup>1</sup>

*Институт масличных культур НААН  
<sup>1</sup>Запорожский национальный университет*

В статье указаны результаты оценки холодоустойчивости 26 генотипов льна масличного методом холодого проращивания семян. В соответствии с результатами исследования сорта и линии разделены на 5 групп: наиболее устойчивые, высокоустойчивые, среднеустойчивые, низкоустойчивые и неустойчивые. Обнаружено, что наиболее высокий уровень резистентности к гипотермическому стрессу имеют генотипы Водограй, А-11, В-11, Sideral и *Linum bienne*, которые являются наиболее селекционно ценными донорами генов холодоустойчивости.

*Ключевые слова:* лён масличный, гипотермия, генотип, холодоустойчивость, проращивание, оценка.

## EVALUATION OF DIFFERENT GENOTYPES OF OILSEED FLAX TO THE IMPACT OF LOW TEMPERATURES

Yu.S. Vitkovska, I.O. Poliakova<sup>1</sup>

*Institute of Oilseed Crops NAAS  
<sup>1</sup>Zaporizhzhia National University*

Low temperature is one of the most important factors limiting productivity and distribution of crops. The creation of varieties and lines that are resistant to low-temperature stress is the current direction of breeding and is carried out on many economically viable crops.

In recent years, interest in oilseed flax has increased significantly, in particular, due to the significant export demand for seeds and oil, which are widely used in the food, chemical and pharmaceutical industries.

In Ukraine, flax refers to the crops of early sowing, therefore, plants are constantly exposed to the negative effects of cold in the early stages of vegetation. According to studies that were conducted earlier, prolonged exposure to low positive temperatures causes growth retardation, elongation of the stems, and late flowering. Low negative temperatures cause the death of leaves and stems of plants. The possibility of sowing this

crop earlier (the so-called "February-March windows") will allow plants to effectively use moisture for vegetative and generative processes and to avoid water stress in the middle of summer.

The aim of our research is to study the low temperature resistance of oilseed flax genotypes of different geographical origin and the search for cold resistance donors for further selection work.

The study was carried out on 26 genotypes of oilseed flax of various geographical and genetic origin: six Ukrainian (Pivdenna Nich, Iceberg, Vodogray, B-11, A-11, No. 38124), five Russian (Issykulsky (K-7481), Yuzhnyi Altai (K-1353), Bakhmalskyiy (K-6056), Severnyi (K-8156), Dyushes (K-7154)); one Belarusian (Solnechniy) one French (Sideral) six Canadian (K-6875, K-4037, IU33173, Saskatoon, K-8085, Norstar) seven American (Linota, Culbert, NPR 714, Texas, Skyscraper) and wild-growing one-year species *L. bienne*.

The cold resistance of the studied oilseed flax genotypes was assessed by the method of cold seed germination in the laboratory.

We determined the effect of low positive temperature on the germination of oilseed flax seeds. For comparison, germination was evaluated in control conditions at 22 °C and it was found that all the studied genotypes had a very high percentage of germination (at least 92%). The germination energy of the control seeds was established on the 3rd day from the beginning of the experiment, although most of the genotypes had a high level already on the 2nd day.

For the experiment, we chose genotypes that are mainly of northern geographic origin, or which showed resistance to hypothermia. Germination of seeds during hypothermia was determined on the 4th day from the beginning of the experiment. This exposure yielded the most contrasting data compared with the third and fifth time.

According to the results of the experiment, we distributed the studied genotypes by resistance to low positive temperature into 5 groups: 1 - the most stable (germination  $\geq 90\%$ ); 2 - highly resistant (89-80%); 3 - medium resistant (79-60%); 4 - low resistant (59-50%) and 5 - unstable ( $<50\%$ ). The most stable group is represented by 5 genotypes: Vodogray (97%), A-11 (96.7%), Sideral (96.7%), B-11 (95.3%) and the wild-growing species *Linum bienne* (91.3%).

Also, a rather high level of tolerance to hypothermia is demonstrated by two genotypes that are included in the highly resistant group: Iceberg (86.7%) and Southern Night (83.3%). The medium resistant group is represented by four genotypes, which includes 3 varieties of Russian origin: Issykulsky (62%), Bakhmal (60%), Northern (60%) and 1 variety of Canadian origin - K-8085 (68%).

The most plenty was the low-tolerant group, which included 11 genotypes of different geographical origin: 1 Belarusian - Solnechniy (58.7%), 2 Russian - Yuzhnyi Altai (50.1%) and Dyushes (56%), 4 Canadian - K-6875 (53.3%), K-4037 (51.3%), Saskatoon (54%) and Norstar (52.7%) and 4 American - Culbert (56%), NPR 714 (54%), Texas (58%), Normandy (58%).

The lowest level of resistance to hypothermic stress is observed in genotypes No. 38124 (Ukraine) - 48%, IU 33173 (Canada) - 48.7%, Linota and Skyscraper (USA), respectively, 47.3% and 49%.

The assessment and distribution of the studied genotypes into groups for resistance to hypothermic stress will be used in the subsequent genetic and breeding work to create a valuable breeding material for oil flax with enhanced cold resistance.

**Keywords:** oil flax, hypothermia, genotype, cold resistance, germination, assessment.