

УДК 635.656:631.527

## Генетичні особливості та стратегія селекції гороху для підзимової сівби

Вячеслав І. Січкарь\*, Руслан В. Соломонов

Одеська державна сільськогосподарська дослідна станція НААН України, смт. Хлібодарське, Біляївський район, Одеська область, Україна, e-mail: [sgi.hlebodar@gmail.com](mailto:sgi.hlebodar@gmail.com)

ORCID ID0000-0003-0581-5068

\* [sgi.hlebodar@gmail.com](mailto:sgi.hlebodar@gmail.com)

### Реферат

**Мета.** Обґрунтувати технологію вирощування гороху за підзимової сівби у зв'язку зі зміною клімату. Провести аналіз стану досліджень за цим напрямом в Україні та за кордоном, підкреслити необхідність створення вихідного селекційного матеріалу для виведення придатних для цієї технології сортів. **Методи.** Польові дослідження проводили на дослідних полях Одеської державної сільськогосподарської дослідної станції, яка розміщена в центральній зоні області. Вивчали реакцію на сівбу восени типово ярих сортів гороху Світ і Дарунок Степу, які рекомендовані для вирощування в нашій країні, а також іноземних сортів Мороз, Ендуро та Балтрап, які спеціально виведені для осіннього висівання. Досліди восени закладали 1, 10, 20 і 30 жовтня, весною в березні, коли стан ґрунту давав змогу проводити сівбу. Впродовж вегетації проводили фенологічні спостереження та необхідні виміри біометричних показників. **Результати.** В осінній період 2017 року були одержані добре розвинені сходи всіх 4 сортів, рослини росли нормально без будь-яких відхилень. Сорти звичайного типу Світ і Дарунок Степу формували підвищену надземну масу. У середині зими (січень 2018 року) проростки також мали задовільний вигляд, перший строк сівби виділився більш розвинутою надземною масою. Пошкоджень першими морозами не зафіксували, у рослин була добре розвинена коренева система. Восени 2018 року в зоні досліджень мала місце досить сильна посуха, сівбу провели у сухий ґрунт, сходів за всіх трьох строків сівби не одержали. Весною 2019 року появились дружні сходи на варіантах з сівбою 19 і 30 жовтня. За осінньої сівби 10 жовтня сходи були зрідженими. У подальшому рослини росли та розвивались без будь-яких відхилень. Повне дозрівання у 2018 році настало 1–2 червня, у 2019 році 8–10 червня. Урожайність сортів Мороз і Ендуро виявилась значно вищою за підзимової сівби 19 жовтня 2018 року порівняно з весняною. Значне збільшення урожайності цього строку сівби спостерігали і у сорту Світ. У сорту Дарунок Степу мала місце приблизно однакова врожайність як за весняної, так і осінньої сівби. Обговорені особливості селекції сортів гороху для підзимової сівби, характер успадкування холодостійкості, вплив певних генів на рівень перезимівлі. **Висновки.** Підзимову сівбу гороху необхідно проводити на початку другої половини жовтня. Із іноземних сортів для цієї технології за урожайністю виділяється Ендуро. На основі аналізу літературних джерел описані кращі за холодостійкістю сортозразки іноземного походження, які необхідно залучати в селекційний процес з метою створення цінного вихідного матеріалу.

**Ключові слова:** сорти гороху, підзимня сівба, холодостійкість, урожайність, успадкування холодостійкості.

## Genetic peculiarities and strategy of the pea breeding for the winter sowing

Vyacheslav Sichkar\*, Ruslan Solomonov

Odesa State Agricultural Experimental Station of NAAS, Odesa, Ukraine, e-mail: sgi.hlebodar@gmail.com

ORCID ID0000-0003-0581-5068

\* sgi.hlebodar@gmail.com

### Abstract.

**Aim.** The need to grow peas under winter sowing in the connection with climate change was grounded. The analysis of the state of research in this area in Ukraine and abroad was conducted. The need to create an initial breeding material for the development of cultivars suitable for this technology was supported. **Methods.** Field studies were conducted on the experimental fields of Odessa State Agricultural Research Station, which is located in the central area of the region. The reaction to the sowing in the autumn of the typically spring cultivars of pea 'Svit' and 'Darunok Stepu', which are recommended for cultivation in our country, as well as the foreign cultivars of 'Moroz', 'Enduro' and 'Balltrap', which were specially bred for autumn sowing, had been studied. The experiments were laid in the autumn of October 1, 10, 20 and 30, in spring in March, when the soil condition allows sowing. Phenological observations were carried out during the growing season and the necessary measurements of biometric parameters had been made. **Results.** In autumn of 2017, well-developed seedlings of all 4 cultivars were obtained; the plants grew normally without any deviations. Normal cultivars of 'Svit' and 'Darunok Stepu' formed an elevated above-ground mass. In the middle of winter (January 2018) the seedlings also had a satisfactory appearance, with the first sowing being more developed above ground. They were not damaged by the first frosts; they had a well-developed root system. In autumn of 2018, a rather severe drought occurred in the study area, sowing was carried out in dry soil; no seedlings were obtained for all three terms. In spring of 2019, good seedlings were obtained under the sowing on October 19 and 30. Under the autumn sowing on October 10, the seedlings were thinned. Subsequently, the plants grew and developed without any deviation. Full maturation in 2018 occurred June 1–2, in 2019 June 8–10. Yields of 'Moroz' and 'Enduro' cultivars were significantly higher under winter sowing on October 19, 2018 compared to spring. A significant increase in the yield of this sowing period was also observed in the 'Svit' cultivar. 'Darunok Stepu' gave about the same yield as in spring and autumn sowing. Features of breeding of pea cultivars for winter sowing, nature of inheritance of cold resistance, influence of certain genes on the level of winter hardiness are discussed. **Conclusions.** Autumn sowing of peas should be carried out at the beginning of the second half of October. 'Enduro' cultivar stands out for yield from the foreign cultivars for this technology. Based on the analysis of literature sources, the best cold-resistant genotypes of foreign origin are described, which should be included in the breeding process to create valuable initial material.

*Key words:* pea cultivars, winter sowing, cold resistance, yield, inheritance of cold resistance.

**Вступ/Introduction.** Горох є провідною зернобобовою культурою нашої планети, яку вирощують у більшості країн світу, переважно у зоні помірного клімату. Його товарне насіння використовують як для приготування харчових продуктів, так і в комбікормовій промисловості як високобілковий компонент. Нині горох є одним із найбільш дешевих джерел високоякісного білка. Крім того, він належить до одного із кращих поліпшувачів ґрунтів, так як за вегетаційний період зв'язує із повітря близько 100 кг/га азоту в діючій речовині. Завдяки бульбочковим бактеріям у ризосфері рослин зосереджується корисний комплекс мікроорганізмів, що оздоровлює ґрунт в результаті конкурентного витіснення патогенних видів. Завдяки цьому горох є відмінним попередником у сівозміні для більшості сільськогосподарських культур. Особливо значна його роль у зонах нашої планети, де вирощують великі об'єми зерна озимої пшениці. Тому в наші дні в цих районах має місце заміна чорних парів на посіви гороху. Особливо ця тенденція спостерігається у США, Канаді, Росії, Австралії. Тому посівні площі культури у світі постійно зростають. Якщо у 2000 році ним займали 6,0 млн. га, у 2014 році — 6,8, а у 2017 році — 8,1 млн. га. Поступово підвищується і його врожайність — з 17,8 ц/га у 2000 році до 19,9 ц/га у 2017 році. Наведені показники стосуються лише гороху, який використовують як товарне насіння. Крім того, на більше 2 млн. га його вирощують для одержання овочевої продукції. Головними країнами, які сіють горох на овочеві цілі є Китай (1,5 млн. га) та Індія (0,5 млн. га).

У 80-их роках минулого сторіччя Україна була одним із головних виробників насіння гороху на нашій планеті. Ним засівали більш 1,5 млн. га, а валовий збір досягав 3,5 млн. т. Нажаль, у період 2000–2016 рр. відбувся дуже значний спад посівів культури до 144–338 тис. га. Найменшу площу засіяли горохом у 2014 році — 144 тис. га. Однак в останні роки намітився значний прогрес у виробництві гороху. Його площі у 2017 році зросли до 405 тис. га, у 2018 — до 431,5 тис. га. Важливо зазначити достатньо високий рівень урожайності культури в Україні у 2016 р. — 31,6 ц/га, у 2017–26,7, у 2018–18,6 ц/га. За цим показником наша країна посідає одне із перших місць у світі. При цьому необхідно зауважити, що існує дуже сильна варіабельність урожайності за роками, особливо у степовій зоні, яка зумовлена частими посухами та високими температурами повітря у період генеративного розвитку. Наприклад, у 2007 році середній урожай гороху в Україні склав 10,9 ц/га, у 2003 році — 11,0 ц/га. З другого боку, в 2016 році він досяг 31,6 ц/га, у 2017–26,7 ц/га. Середній урожай за період 2000–2018 рр. відмічений на рівні 19,2 ц/га.

В останні роки суттєвий інтерес у європейських сільськогосподарських виробників викликає підзимова сівба гороху, що зумовлено глобальним потеплінням. У цьому сторіччі зими на європейському континенті стали більш м'якими, в певній мірі змістились строки осінніх і весняних погодних змін. Перевагою такої схеми є уникнення ґрунтової посухи і дії високої температури. Наші дані свідчать про те, що сівбу проводити краще в середині жовтня, при цьому цвітіння настає у перші дні травня, а повна стиглість — на початку червня. Таким чином, за такої технології є можливість зібрати горох приблизно на 20 днів раніше весняної сівби, а урожай формується переважно за рахунок осінньо-зимової вологи.

У ряді зон осіння сівба в кінці вересня та впродовж жовтня дає змогу провести її більш якісно, ніж висівати весною у вологий ґрунт. Особливо значні переваги дана технологія має місце за прямої сівби в стерню після збирання зернових колосових культур (Mc Phee, 2003).

У Китаї уже в даний час у субтропічній зоні вирощують, в основному, сорти за підзимового висівання (Liu et al., 2017).

Для підзимової сівби до Державного реєстру України занесений сорт сербської селекції АС Мороз. Наші дослідження свідчать про те, що добрі результати можливо отримати також за використання французьких сортів Ендуро та Балтрап.

Перші результати по створенню сортів гороху для підзимової сівби були одержані майже 100 років назад (Wellensick, 1925). В останні роки такі посіви широко практикують середноморські країни, Китай тощо. За-рубіжний виробничий досвід свідчить про більш високу врожайність такої технології порівняно з весняною (Stoddard et al., 2006; Urbatika et al., 2011). В об'ємних польових експериментах в Китаї оцінили реакцію на знижену температуру 3677 колекційних сортозразків гороху, серед яких виявили 214 холодостійких (Zhang et al., 2016). У січні температура падала до  $-13^{\circ}\text{C}$ , що сприяло об'єктивній диференціації генотипів за стійкістю до холоду. За показником схожості, який визначали як відношення кількості проростків до настання холодів і після їх закінчення, установили досить широку амплітуду мінливості, яка коливалась від нуля до 100%, за середнього показника 71,2%.

У другому експерименті було чітко показано, що висіяні восени сорти дозрівали на 2–4 тижні раніше порівняно з весняним строком сівби, хоча різниці за урожайністю тут не спостерігали (Silim et al., 1985). У наших дослідженнях також мало місце суттєве прискорення дозрівання, а також підвищення врожайності рекомендованих для осінньої сівби сортів на 10–15% порівняно з їх висіванням весною.

**Матеріали і методи/Materials and Methods.** Польові дослідження проводили на Одеській державній сільськогосподарській дослідній станції в 2017–2019 рр., яка розташована в центральній зоні області. Вихідний матеріал включав сорти гороху Селекційно-генетичного інституту, які рекомендовані для вирощування за весняної сівби. Крім того, вивчали сорти іноземної селекції, які спеціально створені для підзимової сівби — сербської селекції АС Мороз і французької — Ендуро й Балтрап. Сівбу весною проводили у березні, восени — 1, 10, 20 і 30 жовтня. Фенологічні спостереження виконували за методикою державного сортовипробування, морфоботанічний опис у відповідності з навчальним посібником (Kugychenko, 2009).

**Результати та обговорення/Results and Discussions.** Сівбу восени 2017 року провели в три строки — 5, 15 і 25 жовтня. У зв'язку з достатнім вологозабезпеченням та теплою осінню сходи з'явилися швидко, росли росли і розвивались нормально, ніяких аномальних відхилень не спостерігали. Візуально оцінити стан

рослин можливо розглядаючи рисунки 1 і 2, де літерами А, Б, В і Г зображені рослини сортів Світ, Ендуро, Дарунок Степу і Мороз. На рис. 1 показані рослини першого строку сівби 7 листопада, тобто приблизно через місяць після зароблення насіння в ґрунт, а на рис. 2 — їхній стан 21 листопада. Чітко видно, що сорти звичайного типу Світ і Дарунок Степу більш інтенсивно розвиваються і нагромаджують підвищену надземну масу порівняно зі сортами Ендуро та Мороз. Крім того, у сорту Мороз уже на перших фазах росту починають формуватись бокові гілки.



Рисунок 1. Висота рослин гороху першого строку сівби через місяць після сівби (7.11.2017), сорт: А — Світ, Б — Ендуро, В — Дарунок Степу, Г — Мороз.

Figure 1. Height of pea plants of the first sowing period in one month after sowing (7.11.2017), cultivar: A — Svit, B — Enduro, V — Darunok Stepu, D — Moroz.



Рисунок 2. Стан проростків сортів гороху першого строку сівби 21.11.2017 року  
Figure 2. Condition of seedlings of pea cultivars of the first sowing date 21.11.2017

На рис 3. показано вигляд рослин гороху станом на 29 листопада, тобто перед настанням зими, в залежності від трьох строків сівби. Чітко видно суттєву різницю за висотою рослин і їх наземною масою, яка зумовлена як сортом, так і строками сівби. На цьому рисунку в кожного сорту перша рослина зліва походить від найбільш ранньої сівби, друга — від середньої, третя — від пізньої.

На рис. 4. показані рослини сорту Ендуро в середині зими (9 січня 2018 року) різних строків сівби. Видно, що вони ростуть нормально, їх вигляд задовільний, хоча перший строк чітко виділяється більш ефективною надземною масою. Стан рослин всіх сортів другого строку сівби у середині зими (9 січня 2018 року) представлений на рис. 5. Рослини мають здоровий вид, вони не пошкоджені першими морозами, у них сформована добра коренева система.



Рисунок 3. Стан рослин гороху в залежності від строків сівби станом на 29 листопада 2017 року  
Figure 3. Condition of pea plants depending on sowing time on November 29, 2017



Рисунок 4. Загальний вигляд рослин сорту Ендуро різних строків сівби  
Figure 4. General appearance of 'Enduro' plants of different sowing periods



Рисунок 5. Видгляд рослин гороху другого строку сівби в середині зими  
Figure 5. The appearance of pea plants of the second row of sowing in the middle of winter

У жовтні 2018 року склалися зовсім інші умови. У нашій зоні мала місце сильна посуха, тому ми змушені були висівати насіння у сухий ґрунт. Сівбу провели 10,20 і 30 жовтня. Достатньої кількості вологи осінню так і не було, тому сходів за всіх трьох строків сівби ми не одержали. Весна 2019 року наступила рано, була тривалою та прохолодною. Незважаючи на довгий період перебування насіння в ґрунті, сходи виявились дружно й виявились досить повними. Польова схожість сортів була на рівні 80%, за виключенням першого строку. У цьому варіанті сходи були зріджені й ми їх вибракували.

У подальшому рослини росли та розвивались без будь яких відхилень. Для боротьби з бур'янами у фазі 6–7 листків ми застосовували типовий для гороху гербіцид Базагран у дозі 2,5 л/га. Сходи виявились чистими, цвітіння наступило у перші дні травня, фізіологічна стиглість на початку червня. Оскільки в період дозрівання мала місце дощова погода, збирання провели 13–14 червня.

Урожайність насіння в залежності від сорту та строку сівби наведена в таблиці.

Таблиця. Урожайність сортів гороху за осінньої та весняної сівби, ц/га  
Table. Yield of pea cultivars for autumn and spring sowing, metric centner/ha

Сорт/Cultivar	Весняна сівба/ Spring sowing	Осіння сівба/Autumn sowing	
		19.10.2018 р.	30.10.2018 р.
Світ/Svit	13,4	20,8	16,4
Дарунок Степу/ Darunok Stepu	15,3	14,8	13,7
Мороз/Moroz	15,0	19,0	13,0
Ендуро/Enduro	16,0	20,7	15,6

За весняної сівби у трьох сортів гороху врожайність була майже однаковою. Сорт Світ виділився дещо зниженим рівнем продуктивності. Досить несподіваною виявилось урожайність цього сорту за підзимової сівби 19 жовтня, так як сорт є типовим весняним. Сорти Мороз й Ендуро суттєво перевищили свою врожайність за підзимової сівби 19.10.2018 р. порівняно з весняною. У варіанті з осіннім строком сівби (30.10.2018 р.) урожайність усіх сортів суттєво знизилась.

Таким чином, як за оптимальних, так і посушливих умов осені, підзимову сівбу гороху потрібно проводити у другій половині жовтня. При цьому обов'язково необхідно протруювати насіння.

Виходячи із проведених дворічних спостережень вважаємо, що на сьогоднішній день Ендуро є кращим порівняно з іншими сортами цього типу. Він виділяється підвищеною кількістю бобів на рослині (рис. 6),

у окремих екземплярів ми нараховували 15–17 бобів. Крім того, він характеризується значною регенераційною здатністю (рис. 7–9).



Рисунок 6. Типові рослини сорту гороху Ендуро  
Figure 6. Typical 'Enduro' pea plants



Рисунок 7. Двогілкова рослина сорту Ендуро  
Figure 7. Two-branched plant of 'Enduro'

Якщо головне стебло з певної причини пошкоджене (низька температура, шкідники, механічне травмування), то у нього існує можливість сформувати додатково одну або дві повноцінні бокові гілки. Особливо це має важливе значення, якщо будуть зріджені посіви.

Вивчення гібридних популяцій в штаті Мічіган (США) показало перевагу за зимостійкістю рослин, у яких синтезувався антоціан, тобто тих, які відносяться до групи пелюшок. Крім того, позитивно впливала на перезимівлю наявність на насінні вічка з червоною окраскою (Markarian et al., 1968). Схожі результати були одержані також у Болгарії в Інституті кормових культур, що у м. Плевен (Kosev, 2015). У польових дослідженнях чітко було показано, що деякі сорти гороху здатні переносити морози до  $-8...-12\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Auld et al., 1983; Homer, Sehin, Kucukozdemir, 2016).

У другому об'ємному дослідженні китайських вчених 672 колекційних зразків дослідили в 3 зонах впродовж трьох вегетаційних періодів (Liu et al., 2017). В результаті ідентифікували 16 генотипів, які виявились найбільш адаптивними до умов зон дослідження і у 2015–2016 рр. перенесли температуру  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

В США спостерігали позитивний вплив загартування молодих проростків і ендогенної абсцизової кислоти на витривалість щодо низьких температур (Welbaum et al., 1997). За дії низької температури виявили 7, 3 і 2 специфічних протеїнів у стеблі, епикотилі та кореневій системі відповідно. У клітинах рослинного організму мембрани є досить впорядкованими і складаються із білків і ліпідів. У процесі пристосування до понижених температур холодостійких форм, має місце нагромадження специфічних їх видів, що виконують захисну функцію (Nemura, Kawamura, 2014).

Вивчення холодостійкого сорту Champagne і чутливого до низьких температур Terese виявило суттєву захисну роль пектинів стінок клітин у морозостійкості гороху (Baldwin et al., 2014). Іншою групою вчених, які вивчали вищеназвані сорти, було доведено, що холодостійкість пов'язана з прискореним біосинтезом розчинних

цукрів, підвищеним антиоксидантним потенціалом, регуляцією мРНК, яка забезпечує процеси транскрипції та трансляції, які проходять на хлоропластах (Grimaud et al., 2013). Більш висока стійкість до понижених температур сорту Champagne зумовлена покращеним фотосинтетичним потенціалом на початку дії холоду, пов'язаним з посиленням біосинтезом карбогідратів і білків.



Рисунок 8. Тригілкова рослина сорту Ендуру  
Figure 8. Three-branched plant of 'Enduro'



Рисунок 9. Двогілкова рослина сорту Ендуру з недорозвиненою третьою гілкою  
Figure 9. Two-branched plant of 'Enduro' with an underdeveloped third branch

Сучасний стан селекції більшості сільськогосподарських культур пов'язаний зі застосуванням молекулярно-генетичних методів. Дослідження у Франції із використанням вищеназваних сортів й одержаних на їх основі рекомбінантних ліній підтвердили попередній висновок про те, що локуси, які беруть участь в синтезі рафінози локалізовані в хромосомах 5 і 6, а ферменту RuBisCO в хромосомі 6. Тут сконцентрована основна фенотипова мінливість за рівнем холодостійкості гороху (Dumont et al., 2009). На основі цих досліджень зроблений висновок, що метаболізм рафінози та мінливість RuBisCO впливають на рівень фотосинтезу, який, в основному, визначає стійкість до низьких температур.

У Сербії вже протягом тривалого часу практикують підзимову сівбу гороху. Спочатку це були посіви для одержання зеленої маси, а в останні часи висівають створений шляхом гібридизації французького і сербського матеріалу сорт зернового типу Мороз. Його впровадження у виробництво дає можливість одержувати дуже ранню продукцію (на тиждень раніше, ніж озимий ячмінь) (Mikić et al., 2011).

Широкі наукові дослідження виконані французькими вченими з метою вивчення генетичних показників холодостійкості та створення на їх основі цінного вихідного матеріалу зимуючого гороху (Klein et al., 2014). Впродовж 2005–2010 рр. були ідентифіковані нові джерела стійкості до низьких температур, виділені морозостійкі рекомбінантні лінії, описані 679 маркерів, які локалізовані в 7 групах зчеплення. Із них 161 локус нараховує 9–71% фенотипової мінливості за випробування у 6 місцях. Два кластери QTL, що містяться в групі зчеплення III, і один в групі зчеплення I, виявляють генетичний зв'язок між фенологічними та морфологічними



ознаками, а також урожайністю та зимостійкістю. Інші два постійні QTL, які локалізовані у групі зчеплення V, виявились незалежними стосовно фенологічних і морфологічних ознак, що свідчить про наявність різних механізмів захисту від вимерзання.

Як ми вказували раніше, китайські дослідники ідентифікували ряд зимостійких колекційних сортозразків (Liu et al., 2017). Їх генетичний аналіз із використанням 267 поліморфних маркерів засвідчив значний рівень варіабельності. Це дало змогу в межах вивченого генофонду розділити сортозразки на дві групи. Важливо зазначити, що вивчення географічного походження обох груп показало, що в одну із них входить, в основному матеріал із Китаю. Виявлена в цьому дослідженні зимостійка лінія англійського походження PI 269818 характеризувалась цією ознакою також у США значно раніше (Auld et al., 1983). Описані 7 молекулярних маркерів, які тісно пов'язані з високим рівнем морозостійкості.

У низці експериментів чітко доведено, що стійкість до виживання за низьких температур є досить складною властивістю і в значній мірі залежить не лише від температури повітря, а й від стану ґрунту, наявності снігового покриву, інших погодних чинників.

В арабидопсиса було виявлено 306 генів, які брали участь в індукуванні стійкості до понижених температур (Fowler, Thomashow, 2002).

Ці на початку 1970-их років за характером цвітіння гороху виділили три фенотипові групи: ЕД — рослини рано зацвітають на всій висоті; ЕІ — рано починають цвітіння, але нижні квітки або абортуються, або сильно затягують свій розвиток за короткого дня; L — рослини зацвітають пізно й цвітуть довго (Murfet, 1971 a, b, c). Особливо чітко проявлялись ці відмінності за короткого дня. У цих же роботах були описані три гени, які впливають на зазначені вище відмінності в характері цвітіння — Lf, Sn і E. У подальших дослідженнях був виявлений четвертий ген Hg, який викликає досить помітний ефект за короткого дня (Murfet, 1973). Понижені температури інактивують ефект гена Hg. Цей ген слабо впливає на характер цвітіння за довгого дня, але досить помітно подовжує вегетативний ріст за короткого дня, особливо в комбінації з геном Sn. Подальші дослідження виявили суттєвий зв'язок гена Hg зі стійкістю до понижених температур (Lejeune-Henaut et al., 2008). Дія цього гена полягає в затягуванні формування квіток до того часу, коли найхолодніший період пройде. Польові та лабораторні дослідження на рекомбінантних лініях гороху показали, що локус Hg грає головну роль у визначенні рівня стійкості до холодного стресу.

Спостереження виявили, що для виділення холодостійких форм найкраще підходить наступний температурний режим — пристосувальний період впродовж 4 тижнів за 4 °C, після чого йде проморозка проростків за температури від -7 °C до -9 °C (Swensen, Murrau, 1983; Liesenfeld et al., 1986). Відносно чіткий добір холодостійких форм, які несли алель Hg, мало місце за 11-денного пристосувального періоду і 5-добового проморожування гібридних популяцій гороху (Dumont et al., 2009). У цьому дослідженні показник перенесення низьких температур оцінювали на основі кількості загиблих рослин після відновлювального періоду, рівня електролітів й активності RuBisCo. Підвищена кількість рафінози та більш висока активність RuBisCo позитивно впливали на перенесення холодного періоду рослинами гороху. Одержані гібридні лінії від схрещування холодостійкого сорту Melrose, середньо-стійкого Romack і чутливого до пониженої температури Garfield проморожували в лабораторних умовах і вирощували за осінньої сівби в полі (Liesenfeld et al., 1986). На основі одержаних результатів був зроблений висновок, що рівень холодостійкості залежить від дії 3–4 генів. Суттєвий вплив на цю ознаку чинять гени, що контролюють пігментацію рубчика і локалізовані в хромосомі VI та забарвлення насінневої шкірки, які містяться у хромосомі I.

Методом молекулярної генетики було ідентифіковано 6 локусів QTL, які діють на холодостійкість гороху (Lejeune-Henaut et al., 2008). Із них вплив трьох був виявлений у всіх місцях випробування. Вони локалізовані в хромосомах 3, 5 і 6. Детально вивчаючи генетичні фактори, що впливають на резистентність рослин гороху до низьких температур, французькі вчені зазначають, що крім локусу Hg, існують інші генетичні компоненти, які суттєво діють на цю ознаку (Dumont et al., 2009). Об'ємну наукову роботу з вивчення генетичної основи успадкування холодостійкості гороху провели в Туреччині (Sevhan, 2006). Тут схрестили 4 материнські форми з трьома тестерами. Популяції гібридів F<sub>1</sub> і F<sub>2</sub> вирощували в польових умовах за досить низьких температурних режимів. Установили, що молоді рослини без особливих пошкоджень перенесли температуру -16,8 °C. Виявили низку гібридних популяцій, холодостійкість яких була вищою за материнську форму. Максимальний

рівень резистентності до низької температури спостерігали в гібридних популяціях, де материнською формою був сорт Sprinter. Виявлено, що загальна та специфічна комбінаційна здатність за цією ознакою у батьківських форм суттєво різнилась, найбільшим позитивним значенням ЗКЗ виділився сорт Sprinter. Відмічений високий рівень коефіцієнта успадкування в широкому змісті за рівнем зимостійкості гороху.

Дослідження у Франції показали, що підвищена толерантність до низьких температур зумовлена генами, пов'язаними з активністю фотосинтезу, а також з тими, які беруть участь в біосинтезі амінокислот цистеїну та метіоніну (Legrand et al., 2013). Таким чином, молекули цистеїну й метіоніну виступають кріопротекторами за умов холодостресу. У другому дослідженні французьких вчених, проведеному на значному наборі рекомбінантних інбредних ліній гороху, була сформована генетична карта, яка включала 679 маркерів, розповсюджених у 7 групах зчеплення (Klein et al., 2014). Виокремили два кластери QTL у групі зчеплення III і один в групі VI. Одержані результати стверджують, що селекцію на толерантність до низьких температур потрібно вести незалежно від продуктивності та якості продукції.

Враховуючи вищенаведене, сучасні сорти гороху можливо розділити на три фенологічні категорії — весняні, середземноморські та підзимові (Stoddard et al., 2006).

Технологія вирощування гороху за підзимової сівби суттєво не відрізняється від загальноприйнятої весняної. При цьому важливо правильно добрати сорт. Дослідження свідчать про непогану адаптивність до зимових умов України сортів Мороз та Ендуро. У цьому році ми включили в дослідження також відносно новий французький сорт Балтрап, який у 2017 році занесений до національного реєстру Чеської республіки. Він виділяється підвищеною морозостійкістю, врожайністю та стійкістю проти вилягання. Маса 1000 насінин складає 187 г. Відмічається його інтенсивний ріст на початку вегетації та підвищена стійкість до основних хвороб. Крім того, спільно з Інститутом рослинництва ім. В.Я. Юр'єва (Харків) проведена гібридизація кращих існуючих сортів і ліній для підзимової сівби з метою створення вітчизняних сортів цього типу.

**Висновки/Conclusions.** На основі одержаних результатів польових досліджень і аналізу наукових джерел обговорено мінливість і успадкування холодостійкості колекційного генофонду гороху *Pisum sativum* L., ви-світлені позитивні сторони підзимової технології вирощування культури, розкриті генетичні та фізіологічні механізми стійкості до низьких температур.

#### Список посилань/References

Auld, D. I., Ditterline, R. L., Murray, G. A., Swensen, J. B. (1983). Screening peas for winterhardiness under field and laboratory conditions. *Crop. Science*. V. 23. № 1. P. 85–88.

Baldwin, L., Domon, J., Klimek, J., Fournet, F., Selier, H., Gillet, F. ... & Rayon, C. (2014). Structural alteration of cell wall pectins accompanies pea development in response to cold. *Phytochemistry*. V. 104. P. 37–47.

Ceyhan, E. (2006). Genetic analysis of cold hardness in peas (*Pisum sativum* L.). *Journal Plant Science*. V.1. № 2. P. 138–143.

Dumont, E., Fontaine, V., Vuylsteker, C., Sellier, H., Bodele, S., Voedts, N. ... & Delbreil, B. (2009). Association of sugar content QTL and PQL with physiological traits relevant to frost damage resistance in pea under field and controlled conditions. *Theoretical Applied Genetics*. V. 118. № 8. P. 1561–1571.

Fowler, S., Thomashow, M. F. (2002). Arabidopsis transcriptome profiling indicates that multiple regulatory pathway are activated during cold acclimation in addition to the CBF cold response pathway. *Plant Cell*. V. 14. № 8. P. 1675–1690.

Grimaud, F., Renaut, J., Dumont, E., Sergeant, K., Lucau-Danila, P., Blervacq, A. S. ... & Goulas, E. (2013). Exploring chloroplastic changes related to chilling and freezing tolerance during cold acclimation of pea (*Pisum sativum* L.). *Journal of Proteomics*. V. 8. P. 145–159.

Homer, A., Sahin, M., Kucukozdemir, U. (2016). Evaluation of pea (*Pisum sativum* L.) germplasm for winter hardiness in Central Anatolia, Turkey, using field controlled environment. *Czech j. Genet. Plant Breed*. V. 52. № 2. P. 55–63.

Hemura, M., Kawamura, U. (2014). Plant low-temperature tolerance and its cellular mechanism. *Plant Abiotic Stress* [Eds.: M. A. Jenks & P. M. Hasegawa]. Wiley–Blackwell, Ames, IA. P. 109–122.

Klein, A., Houten, H., Rond, C., Marget, P., Jacquin, F., Boucherot, K. ... & Burstin, J. (2014). QTL analysis of frost damage in pea suggests different mechanisms involved in frost tolerance. *Theoretical and Applied*

*Genetics*. V. 127. № 6. P. 1319–1330.

Kosev, V. (2015). Evaluation of genetic divergence and heritability in winter field pea genotypes. *Selekcija I Nasinnictwo*. № 108. S. 106–115.

Kyrychenko, V. V., Kobzyeva, L. N., Petrenkova, V. P., Ryabchun, V. K., Bezugla, O. M., & Markova, T. Yu. (2009). *Identificaciya oznak zernobobowih kultur (kwasolya, nut, sochewica)*. Kharkiv: Plant Production Institute nd. a V. Ya. Yuryev of NAAS of Ukraine. 172 p. (in Ukrainian).

Liesenfeld, D. R., Auld, D. L., Murray, C. A., Swensen, J. B. (1986). Transmittance of winterhardiness in segregated populations of peas. *Crop Science*. V. 26. № 1. P. 49–54.

Lejeune-Henaut, I., Hanocq, E., Bethencourt, L. (2008). The flowering locus Hr colocalizes with a major QTL affecting winter frost tolerance in *Pisum sativum* L. *Theoretical and Applied Genetics*. V. 116. N8. P. 1105–1116.

Legrand, S., Marque, G., Blassiau, A., Blutean, A., Canoy, A., Fontaine, V. ... & Lejeune-Henaut, I. (2013). Combining gene expression and genetic analyses to identify candidate genes involved in cold responses in pea. *Journal Plant Physiology*. V. 170. N13. P. 1148–1157.

Liu, R., Fang, L., Yang, T., Zhang, X., Hu, J., Zhang, H. ... & Zong, X. (2017). Marker–trait association analysis of frost tolerance of 672 worldwide pea (*Pisum sativum* L.) collections. *Science reports*. V. 7. 5919. DOI: 10.1038/541598:017–06222-y.

Mikič, A., Mihailovič, V., Čupine, B., Dordevič, V., Milič, D., Due, G. (2011). Achievements in breeding autumn-sown annual legumes for temperate region with emphasis on the continental Balkans. *Euphytica*. V. 180. N1. P. 57–67.

Markarian, D., Harwood, R.R., Rowe, Ph. R. (1968). The inheritance of winter hardiness in *Pisum*. II. Description and release of advance generation breeding lines. *Euphytica*. V. 17. N1. P. 110–113.

Murfet, I. C. (1971a). Flowering in *Pisum*. Three distinct phenotypic classes determined by the interaction of a dominant early late gene. *Heredity*. V. 26. P. 243–257.

Murfet, I. C. (1971b). Flowering in *Pisum*. A three — gene system. *Heredity*. V. 27. P. 93–110.

Murfet, I. C. (1971c). Flowering in *Pisum*. Reciprocal grafts between known genotypes. *Australian Journal of Biological Sciences*. V. 24. N4. P. 1084–1101.

Murfet, I. C. (1973). Flowering in *Pisum*. Hr, a gene for high response to photoperiod. *Heredity*. V. 31. N2. P. 157–164.

McPhee, K. (2003). Dry pea production and breeding: a mini–review. *Journal of Food, Agriculture and Environment*. V. 1. N1. P. 64–69.

Stoddard, F. L., Balko, C., Erskine, W., Khan, H. R., Link, W., Sarker, A. (2006). Screening techniques and sources of resistance to abiotic stresses in cool season food legumes. *Euphytica*. V. 147. N1–2. P. 167–186.

Swensen, J. B., Murray, G. A. (1983). Cold acclimation of field peas in a controlled environment. *Crop Science*. V. 23. N1. P. 27–30.

Silim, S. N., Hebblethwaite, P. D., Heath, M. C. (1985). Comparison of the effect of autumn and spring sowing date on growth and yield of combining peas (*Pisum sativum* L.). *The Journal of Agricultural Science*. V. 104. N1. P. 35–46.

Urbatzka, P., Grag, R., Haase, T., Schiiler, C., Trautz, D., Hefg, J. (2011). Grain yield and quality characteristics of different genotypes of winter pea in comparison to spring pea for organic farming in pure and mixed stands. *Organic Agriculture*. V. 1. N4. P. 187–202.

Welbaum, G. E., Bian, D., Hill, D. R., Grayson, R. L., Gunatilaka, M. K. (1997). Freezing tolerance, protein composition, and abscisic acid localization and content of pea epicotyls, shoot, and root tissue in response to temperature and water stress. *Journal of Experimental Botany*. V. 48. N308. P. 643–654.

Wellensick, S. J. (1925). Genetic monography on *Pisum*. *Biblhia genetica*. N2. P. 343–476.

Zhang, X., Wan, S., Hao, J., Hu, J., Yang, T., Zong, X. (2016). Large — scale evaluation of pea (*Pisum sativum* L.) germplasm for cold tolerance in the field during winter in Qingdao. *The crop journal*. V. 4. N5. P. 377–383.

Received: June, 18

Accepted: July, 4