

Делеган И. В. (1978). Влияние климатических факторов на сезонный и годичный прирост ореха черного в условиях Запада Украины. *Дендроклиматические исследования в СССР: материалы 3-й Всесоюзной конф. дендроклиматологов* (г. Архангельск, 12–15 июня 1978), с. 120–125.

Жигалова С. Л. (2007). Рід *Juglans L. (Juglan daceae)* в Україні (Морфолого-біологічні та географічні особливості, систематичне положення та народногосподарське значення): *автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук*. Київ. 21 с.

Дайронас Ж. В. (2015). Морфолого-анатомическое изучение плодов ореха грецкого (*JUGLANS REGIA L.*) и ореха черного (*JUGLANS NIGRA L.*). *Современные проблемы науки и образования* (№ 1–2); URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=19823> (дата обращения: 06.02.2019).

УДК 635.655:631.526.32

DOI 10.37555/2707-3114.1.2021.247726

Створення рекомбінантних ліній гороху з підвищеним рівнем адаптивності до посушливих умов

¹ Січкач В. І., ² Василенко А. О., ¹ Кривенко А. І., ¹ Соломонов Р. В.

¹ Одеська державна сільськогосподарська дослідна станція НААН України, смт. Хлібодарське, Одеський район, Одеська область, Україна, 67667, e-mail: sgi.hlebodar@gmail.com

² Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН України, м. Харків, Московський проспект 142, Україна, 61128, e-mail: yuriev1908@gmail.com

Creation of pea recombinant lines with increased level of adaptability to drought conditions

¹ Sichkar V. I., ² Vasylenko A. O., ¹ Kryvenko A. I., ¹ Solomonov R. V.

¹ Odessa State Agricultural Research Station of NAAS of Ukraine, Hlibodarske, Odessa district, Odessa region, Ukraine, 67667, E-mail: sgi.hlebodar@gmail.com

² Plant Production Institute nd. a V. Ya. Yuryev of NAAS of Ukraine, Kharkiv, Moscovskiy prosp., 142, Ukraine, 61128, E-mail: yuriev1908@gmail.com

Анотація. Вступ. Горох відноситься до найбільш розповсюджених в Україні зернобобових культур, тому створення та впровадження у виробництво нових сортів приносить значний економічний ефект. Головна мета його селекції полягає у створенні високоадаптивних до біотичних та абіотичних факторів сортів, урожайність яких була б стабільною впродовж багатьох років. **Матеріали і методи.** Польові дослідження проводили в центральній зоні Одеської області впродовж 2018–2021 рр. Контрольний розсадник, екологічне, попереднє та конкурсне випробування висівали ділянками довжиною 10 м селекційною сівалкою «Клен-1,5С», селекційного та колекційного розсадників вручну широкорядним способом з міжряддями 45 см. У процесі вегетації проводили фенологічні спостереження, необхідні обліки та оцінки. Ділянки контрольного, екологічного, попереднього і конкурсного випробування збирали селекційним комбайном «Сампо-130», рослини селекційного та колекційного розсадників зв'язували у снопи й в подальшому обмолочували на молотарці. Урожайність насіння перераховували на 14% вологість. **Результати та обговорення.** За посушливих умов 2018–2020 років урожайність усіх сортів і селекційних ліній виявилась невисокою, що свідчить про необхідність посилення селекційних досліджень в напрямі покращення адаптивних ознак нового вихідного матеріалу. Аналіз результатів власних досліджень і великого об'єму літературних джерел свідчать про те, що створення сортів з більш стабільним рівнем продуктивності буде проходити поступово шляхом послідовного накопичення позитивних генних локусів за використання складних ступінчатих схрещувань, вирощування великого об'єму гібридних популяцій ранніх поколінь та ефективного добору високоадаптивних форм. Велике значення має мережа екологічних випробувань. **Висновки.** За оптимальних умов зволоження врожайність

кращих сортів досягає 5,0 т/га, а у деяких рекомбінантних ліній навіть перевищує це значення. Значної актуальності набуває виявлення серед світового генофонду донорів і джерел посухо- та жаростійкості. Особливо важливо ідентифікувати генетичні локуси цих ознак генетично молекулярними методами досліджень.

Ключові слова: горох, урожайність, посухостійкість, адаптивність, сорт, вусаті генотипи, стійкість проти вилягання.

Abstract. Introduction. Peas are among the most common legumes in Ukraine, so the creation and introduction into production of new varieties has a significant economic effect. The main purpose of its breeding is to create highly adaptable to biotic and abiotic factors varieties, the yield of which would be stable for many years. **Materials and methods.** Field studies were conducted in the central zone of Odessa region during 2018–2021. Control nursery, ecological, preliminary and competitive testing were sown in plots 10 m long with a seeder “Klen-1.5C”, sowing of breeding and collection nurseries was carried out manually in a wide rows with 45 sm. In the process of vegetation conducted phenological observations, the necessary accounting and evaluation. Plots of control, ecological, preliminary and competitive testing were harvested with a breeding combine “Sampo-130”, plants of selection and collection nurseries were tied into sheaves and then threshed on a thresher. Seed yield was calculated at 14% humidity. **Results and discussion.** Under arid conditions in 2018–2020, the yield of all varieties and breeding lines was low, which indicates the need to strengthen breeding research to improve the adaptive characteristics of the new source material. Analysis of the results of our own research and a large volume of literature sources show that the creation of varieties with a more stable level of productivity will take place gradually through the consistent accumulation of positive gene loci using complex stepwise crosses and large volumes of hybrid populations of early generations, and effective selection highly adaptive forms. The network of ecological tests is of great importance. Under optimal moisture conditions, the yield of the best varieties reaches 5.0 t / ha, and in some recombinant lines exceeds this value. The identification of donors and sources of drought and heat resistance among the world gene pool is becoming increasingly important. It is especially important to identify the genetic loci of these traits by genetic molecular research methods.

Key words: pea, yield, drought resistance, adaptability, variety, leafless genotypes, resistance against lodging.

Вступ. Упровадження науково обґрунтованих сівозмін у сільськогосподарське виробництво є одним із найбільш ефективних і дешевих засобів підвищення урожайності та покращення продукції аграрного сектору. У багатьох країнах світу доказано, що сформувати високоефективні сівозміни без участі зернобобових культур неможливо. Розширення вирощування цієї групи культур дозволяє суттєво покращити рівень родючості ґрунтів без значних матеріальних затрат. На сьогоднішній день це дуже важлива глобальна проблема більшості країн світу. Впровадження інтенсивних технологій вирощування сільськогосподарських культур з однієї сторони дало можливість різко збільшити валові збори продукції, але одночасно привело до ряду негативних наслідків. Порушення сівозмін за рахунок насичення їх такими культурами як соняшник і ріпак, які інтенсивно використовують елементи живлення, сприяло швидкому зменшенню органічної речовини в ґрунтах, накопиченню в них токсичних речовин і хвороботворних мікроорганізмів. Виправити таку ситуацію можливо впровадженням науково обґрунтованого набору культур, що сприяє підвищенню продуктивності сільськогосподарських угідь, поліпшенню родючості ґрунтів, зменшенню чисельності хвороб і шкідників, зниженню забур'яненості полів. Даний захід не потребує додаткових капіталовкладень, його роль особливо зростає у даний період, коли має місце інтенсивне впровадження мінімальних і нульових технологій обробітку ґрунту та короткоротаційних сівозмін.

Серед цієї групи горох у світовому масштабі займає лідерську позицію, а в Україні за площами посіву вступає лише соя. А в останні десятиліття минулого сторіччя його висівали в нашій країні на площі біля 1,5 млн. га, а валовий збір сягав майже 3,5 млн. т. Для України дуже важливо відновити втрачені позиції цієї культури, так як це є найкращий попередник для озимої пшениці. Виробничий досвід свідчить про те, що ріст її урожайності після гороху становить біля 1 т зерна з кожного гектара посіву. Крім того, культура є досить урожайною. Уже в наші часи за оптимальних умов вирощування врожайність гороху перевищує 7 т/га (Кондіков, 2008). У Канаді щорічний приріст урожайності гороху складає 2%, що значно вище порівняно з іншими культурами на глобальному рівні (Rubiales et al., 2019). Цього досягнуто завдяки значному об'єму селекційних робіт з цією культурою.

Для виконання завдання різкого підвищення урожайності вирішальну роль відіграє сорт. Якраз на створення нового вихідного матеріалу для виведення сортів гороху, які виділяються підвищеним адаптивним потенціалом, направлені наші дослідження в центральній зоні Одеської області.

Матеріали і методи. Польові дослідження проводили на полях Одеської державної сільськогосподарської дослідної станції, яка розташована на території південної частини Причорноморської низини в степовій зоні Одеської області. Рельєф представлений майже ідеальною рівниною. Ґрунтовий покрив являє південні середньогумусні високосуглинисті чорноземи на лесових відкладеннях. Товщина гумусового шару 40–50 см, уміст гумусу 3,5–4,5%. Сума поглинутих основ 40–45 мг. екв. на 100 г ґрунту. Кількість доступних елементів живлення (в мг. екв. на 100 г ґрунту) складає: 3–4 азоту, 10–15 фосфору та 20–30 калію. Реакція ґрунтового розчину нейтральна або слабо лужна (рН сольової витяжки 6,0–7,2).

У 2021 році, на відміну від попередніх, склалися надзвичайно сприятливі для росту рослин гороху умови. За період вегетації (березень-червень) випало 225,5 мм опадів за 146 мм середньобагаторічної норми (табл. 1). Досить важливо, що за період травень-червень, коли йде формування бобів і налив насіння, опадів було достатньо, що дало можливість одержати доволі високий урожай насіння.

Таблиця 1. Кількість опадів у період проведення досліджень, за роками, мм

Місяць	Рік			
	2018	2019	2020	2021
Січень	25,5	63,0	24,0	45,0
Лютий	27,3	0	43,0	51,0
Березень	50,5	0	7,0	36,0
Квітень	3,3	23,0	6,0	42,0
Травень	10,0	46,0	69,0	55,0
Червень	1,0	22,5	88,0	92,5
Липень	45,0	67,0	43,5	112,0
Серпень	7,0	50,0	10,0	
Вересень	172,0	3,0	31,0	
Жовтень	0	32,0	7,5	
Листопад	12,0	5,0	32,0	
Грудень	20,0	30,0	34,0	
Всього	373,4	344,5	395,0	

Експериментальний матеріал поточного року включав екологічне випробування, колекційні сортозразки, батьківські пари для гібридизації, покоління гібридів F_1 - F_2 , селекційний і контрольний розсадники, попереднє і конкурсне сортовипробування.

Колекційні сортозразки і батьківські пари висівали ручними саджалками 2-х метровими рядками з шириною міжрядь 45 см. Гібридні комбінації різних поколінь розміщували за схемою: материнська форма – гібридна комбінація – батьківська форма. Цей розсадник засівали вручну. Сівбу селекційного розсадника також проводили вручну широкорядним способом, стандартний сорт розміщали через 19 рядків. Контрольний розсадник, попереднє, конкурсне та екологічне сортовипробування висівали селекційною сівалкою «Клен-1,5С» звичайним рядковим способом. Ділянки були довжиною 10 м для контрольного розсадника та конкурсного сортовипробування. Кількість повторень: 4 – для конкурсного сортовипробування та одне для попереднього й контрольного розсадників. Сортозразки колекційного, гібридного та селекційного розсадників збирали вручну, зв'язували в снопи, які привозили в складське приміщення для аналізу та обмолоту. Ділянки контрольного розсадника, попереднього та конкурсного сортовипробувань збирали селекційним комбайном «Сампо 130». Урожай насіння перерахували на 14% вологість.

У процесі вегетації проводили фенологічні спостереження, необхідні обліки та оцінки за загальноприйнятою методикою (Волкодав, 2003). Ушкодження рослин хворобами і шкідниками оцінювали за 5-бальною шкалою згідно до методики, викладеної у посібнику (Кириченко и др., 2009).

Селекційний матеріал, який вивчали, був представлений 7 сортами та 10 константними лініями Інституту рослинництва ім. В. Я. Юр'єва (ІР) і 5 сортами Селекційно-генетичного інституту (СГІ), із яких Пристань і Білий ангел були включені у дослідження лише у 2021 році.

Результати та обговорення. Методом гібридизації в нашій країні створена низка високопродуктивних сортів гороху, які вирощують на значних площах. Найбільших успіхів у цьому напрямі досягли селекціонери ІР. До державного реєстру на цей рік занесені 7 сортів цього наукового закладу, які рекомендовано вирощувати у всіх зонах нашої країни. У СГІ виведено 5 сортів цієї культури. Важливо зазначити, що всі вони занесені до реєстру за останні три роки. Значна селекційна робота з цією культурою ведеться в Інституті біоенергетичних культур і цукрових буряків (м. Київ) та Інституті кормів і сільського господарства Поділля (м. Вінниця). Цими науковими установами виведений ряд сортів, які занесені до державного реєстру, які добре пристосовані до зональних умов. Крім того, для використання рекомендовано більше 20 іноземних сортів, які походять, в основному, із Чехії, Німеччини, Франції та інших європейських країн. Наведені дані свідчать про досить широкий сортовий асортимент культури в Україні. Це являється одним із найбільш важливих позитивних факторів того, що врожайність гороху знаходиться на світовому рівні. Наприклад, середній врожай впродовж 2017–2019 рр. в США склав 20,3 ц/га, в Канаді – 25,3, в РФ – 20,5 ц/га. А в Україні цей показник досяг 22,4 ц/га. Головним аргументом, який характеризує необхідність збільшення посівів гороху, виступає його цінність, як найкращого попередника для зернових культур, особливо для одержання високої якості зерна пшениці. Така практика інтенсивно впроваджується в останні роки в США та Канаді. У наші дні тут здійснюється великомасштабна заміна парових попередників на посіви зернобобових культур, головним чином на горох, нут і сочевицю. Такий перехід не погіршує врожайності наступних у сівозміні культур, збільшує валовий збір продукції за рахунок ліквідації парового поля, сприяє покращенню якості ґрунтів, стабілізує врожайність за роками. Важливо відмітити, що цей процес проходить у регіонах, які за кліматичними умовами дуже подібні до степової зони України. У Канаді – це провінції Саскачеван й Альберта, де кількість опадів складає 350–400 мм. У США заміна чистих парів на горох різко посилилась за останнє десятиріччя у посушливому регіоні, так званому пшеничному поясі (Великі рівнини), з опадами на рівні 320–400 мм. Це штати Канзас, Оклахома, Небраска, Колорадо та інші.

Кліматичні умови України є сприятливими для одержання економічно обґрунтованого врожаю гороху. Крім того, потрібно враховувати потенціальну прибавку врожаю наступної культури в сівозміні за рахунок доброго попередника. Але виробнича практика свідчить про те, що існуючі сорти ще недостатньо пристосовані до посушливих умов. Про це об'єктивно свідчать результати їх випробування в центральній зоні Одеської області, яка відображає особливості Степу України (табл. 2).

Таблиця 2. Урожай гороху в 2018–2021 рр. у центральній зоні Одеської області (уесь набір форм, які випробувались)

Сорт, лінія	Урожайність, ц/га					
	2018	2019	2020	2021	2018–2021	2018–2020
Оплот	6,4	10,4	10,2	42,5	17,4	9,0
Корвет	7,0	11,9	8,4	41,9	17,3	9,1
Гайдук	8,0	15,1	8,4	48,5	20,0	10,5
Малахіт	7,3	10,0	7,9	46,8	18,0	8,4
Меценат	6,8	11,7	12,2	37,5	17,0	10,2
Царевич	8,2	12,7	10,6	40,5	18,0	10,5
Отаман	7,0	11,7	8,6	46,8	18,5	9,1
Дарунок степу	—	12,7	8,2	43,8	—	—

1	2	3	4	5	6	7
Круїз	—	11,7	9,3	36,0	—	—
Світ	—	10,1	12,4	38,0	—	—
Л 09–118	12,3	12,1	10,3	38,8	18,4	11,6
Л 10–37	9,4	12,5	10,9	49,8	20,6	10,9
Л 10–132	9,0	10,7	12,0	34,9	16,6	10,6
Л 11–32	12,1	10,1	12,4	35,3	17,5	11,5
Л 11–49	10,5	13,1	7,9	—	—	10,5
Л 15–29	—	9,5	16,4	27,4	—	—
Л 11–55	10,4	10,1	8,0	—	—	9,5
Л 11–58	9,6	13,5	8,0	44,5	18,9	10,4
Л 11–129	9,1	10,5	8,5	—	—	9,4
Л 11–166	9,0	11,3	10,9	41,4	18,2	10,4
Л 11–176	10,5	12,0	10,9	40,4	18,4	11,1
Л 11–203	9,3	14,3	10,4	49,0	20,8	11,3
Л 15–60	—	10,9	15,6	37,8	-	-
Л 15–27				32,1		
Л 15–126				31,9		
Л 16–44				44,0		
Л 16–73				43,3		
Л 16–93				40,4		
Л 16–136				37,9		
Л 16–189				37,8		
Л 17–65				27,0		
Босфор				51,1		
Пристань				31,6		

Як видно із таблиці 1 впродовж 2018–2020 рр. спостерігали незначну кількість опадів у період вегетативного росту рослин гороху. Так у 2018 році за квітень, травень і червень випало всього 14,3 мм опадів, що привело до пригнічення росту рослин та формування дуже низької продуктивності, так як в цей період проходять найбільш важливі етапи продукційного процесу – закладання потенціалу врожайності, цвітіння, зав'язування молодих бобів. У 2019 та 2020 роках практично не було ефективних опадів у березні та квітні. За таких посушливих погодних умов сформувався дуже низький врожайний потенціал. Як у занесених до державного реєстру сортів, так і константних селекційних ліній, середня за 4 роки врожайність варіювала в межах 17,0–20,8 ц/га, тобто була низькою. На цьому фоні серед сортів кращими були Гайдук, Отаман і Царевич. Приблизно такою же урожайністю характеризувались сорти одеського походження Дарунок Степу і Світ. Серед селекційних ліній виділились урожайністю за посушливих умов (2018–2020) Л 09–118, Л 10–37, Л 11–32, Л 11–176 і Л 11–213. На жаль, не всі вони підтвердили свою перевагу за цією ознакою в досить багатому на дощі 2021 році. Велика кількість опадів у квітні, травні й червні та на початку липня привела до сильного вилягання рослин гороху і їх продуктивність в значній мірі визначалась стійкістю проти цього несприятливого фактора. Практично всі генотипи гороху, які нами вивчались, характеризувались різним рівнем вилягання, що в значній мірі понизило врожайність посівів. Але не дивлячись на це у цьому році зібрали непоганий врожай. Сорти Гайдук, Малахит й Оплот виділились максимальним значенням цього показника. А сорт Гайдук був одним із кращих як за посушливих умов, так і при перезволоженні. Серед селекційних ліній найкраще перенесли посуху та вилягання Л 11–203 і Л 10–37. Важливо підкреслити, що їх врожайність за достатньої кількості вологи досягла майже 50 ц/га. Таким чином контрастні погодні умови впродовж періоду досліджень чітко висвітлили

дві найбільш важливі проблеми сучасної селекції гороху – стійкість до посухи та проти вилягання. Над поєднанням цих характеристик в одному генотипі повинні інтенсивно працювати селекціонери з участю фізіологів, біохіміків, біофізиків низки наукових закладів різних країн. Наші багаторічні дослідження з великим набором генотипів гороху виявили суттєву залежність урожайності як від умов вирощування, так і від їхніх морфологічних особливостей. Більш висока врожайність насіння середньорослих генотипів підтверджує висновок про значення біологічної маси рослин в реутилізації поживних речовин для наливу насіння, особливо за посушливих умов. А за умов оптимального зволоження більш продуктивними є напівкарликові та невилягаючі середньорослі генотипи (Жухлаєв и др., 2014). Для умов степової зони України необхідні середньорослі сорти висотою 80–85 см. Ми реалізували цю ідею створенням сорту Круїз, який є одним із найбільш адаптивних для степової зони України, який виділяється підвищеною висотою рослин за посушливих умов.

Низку високопродуктивних рекомбінантних ліній виділено у 2021 році в контрольному розсаднику (табл. 3). Важливо зазначити, що переважна їх більшість походить із гібридних комбінацій, материнською формою яких слугував сорт Оплот. Таким чином, у цій серії схрещувань продемонстровано, що цей сорт виділяється позитивним набором донорських ознак, які передаються й сприяють формуванню у нащадків позитивного комплексу господарсько цінних ознак. Набір корисних показників цього сорту передається як макроознака, яка об'єднує певні гени, які діють інтегруючи і добре вписуються в нові геноми рекомбінантних ліній. На комбінаціях з участю сорту Оплот продемонстрована можливість передачі потомству макроознак (комплексу генів), що дозволяє суттєво прискорити селекційний процес. Рівень урожайності створених селекційних ліній свідчить про високу узгодженість процесів їх росту та розвитку впродовж онтогенезу з динамікою факторів зовнішнього середовища. Поскілки наведені в таблиці 3 високопродуктивні лінії характеризувались підвищеною продуктивністю і в попередні роки, які виділялись дефіцитом вологи та високим температурним режимом, це свідчить про їх значну селекційну цінність для мінливих умов степової зони України.

Таблиця 3. Урожайність кращих селекційних ліній гороху контрольного розсадника у 2021 році, кг насіння з ділянки

Польовий №	Походження	Урожайність, кг
1005	Світ, ст.	3,80
1020	Оплот / Професор Чекалін	5,35
1021	-//-	5,40
1022	-//-	5,05
1023	-//-	5,70
1024	-//-	4,65
1025	-//-	4,95
1053	Оплот / Дарунок Степу	5,55
1054	-//-	5,05
1055	-//-	5,35
1057	-//-	5,70
1083	Ендуро / Дарунок Степу	4,55
1113	Оплот / Світ	4,65
1132	Оплот / Ендуро	4,60
1140	-//-	5,10
1141	-//-	5,60
1142	-//-	4,55
1145	-//-	4,60
1196	Професор Чекалін / Світ	5,45

Наведені дані врожайності сортів і селекційних ліній гороху впродовж чотирьох років демонструють наявність двох показників, які найбільше впливають на їх селекційну цінність: посухостійкість і стійкість проти вилягання. Не дивлячись на значні зусилля селекціонерів у напрямі підвищення врожайності за дефіциту вологи, практичні зрушення поки що є досить скромними (Амелин, 2001; Соболева и др., 2014; Considini et al., 2017). Підвищені температури повітря та недостатня кількість вологи в ґрунті призводять до морфологічних, фізіологічних та біохімічних змін в рослинах, які негативно відбиваються на рості, продуктивності та якості продукції. Унаслідок дії цих абіотичних факторів порушуються фотосинтез, респірація, азотфіксувальна здатність, репродукційні та метаболічні функції. Водний стрес визиває сповільнення швидкості росту рослин, скорочує площу листової поверхні, порушує роботу продихів, негативно впливає на біохімічні та фізіологічні показники, які задіяні в ростових процесах. Важливо зазначити, що посуха в найбільшій мірі впливає на нагромадження загальної сухої маси. Особливо від'ємно діє на цю ознаку недостача води в період цвітіння, так як рослини гороху найбільш чутливі до дії посухи в період від початку цвітіння до наливу насіння (Guilioni et al., 2013; Jeuffroy et al., 2010; Sadras et al., 2013). Високі температури індукують суттєве падіння врожайності за рахунок скорочення періоду від початку цвітіння до дозрівання, тому генотипи гороху з подовженим цвітінням є більш посухотолерантними (Bueckert, Clarke, 2013).

За температури вище 35 °C у листках рослин гороху спостерігається помітне падіння рівня чистого фотосинтезу, а якщо температура досягає 45 °C, то цей показник знижується на 80% (Haldimann, Feller, 2005).

У дослідженнях *in vitro* було показано, що жара сильно інгібує проростання пилоквих зерен і довжину пилоквих трубок (Petkova et al., 2009; Jiang et al., 2015, 2018). Досліди з двома сортами за температури 35/18 °C (день/ніч) виявили суттєві біохімічні зміни складу тичинок рослин гороху, хоча сорт CDC Saga був більш стійким за цими показниками порівняно зі сортом CDC Golden (Jiang et al., 2018). За цих умов знизилася життєздатність пилоквих зерен і кількість насінних зачатків, в які проникли пилові трубки. Після 7 діб теплового стресу спостерігали часткову або повну здатність пиляків до розтріскування, що привело до попадання їх на рильце нерозділеними один від одного, хоча для опилення насінних зачатків підвищена температура виявилася стимулятором, але за цих умов зменшилась їх життєздатність. Таким чином можливо стверджувати, що пилові зерна більш чутливі до цього фактору порівняно з насінними зачатками та зародками. Температурний стрес для більшості субтропічних і тропічних культур виникає за температури вище 32–35 °C, а для рослин помірному клімату цей поріг настає за 25 °C (Bita, Gerats, 2013; Wahid et al., 2007). У залежності від генотипу критична температура для рослин гороху становить 15–25 °C (Gladish, Rost, 1993). Такий розмах мінливості цієї ознаки свідчить про наявність потенціалу для її підвищення селекційним шляхом. Високі температури негативно впливають на формування квіток, життєздатність пилоквих зерен та зародків, зав'язування бобів і насіння, біохімічний склад та якість насіння (Barnabas et al., 2008). За наступання стресу підвищується проникливість мембран тканин рослин, на яких знаходяться білкові сенсорні точки, в результаті чого проходять конформаційні зміни та процеси фосфорилування (Kanshal et al., 2016; Sehgal et al., 2016). Крім того, чітко також проявляються такі візуальні симптоми, як поява опіків та пожовтіння на листках, гілках та стеблах, прискорене старіння листків та наступне їх опадання, уповільнення росту надземної частини рослин та їх кореневих систем. У процесі наливу насіння підвищені температури пригнічують біосинтез гормонів та інших біологічно активних сполук, що негативно впливає як на його формування, так й абортівність (Abeysingha, 2015; Ozga et al., 2009; Ozga et al., 2017; Stavang et al., 2005). За підвищених температур уповільнюється фотосинтез, підвищується респірація, падає осмотичний потенціал і концентрація цукрів у клітинах (Have et al., 2005; Vara Prasad et al., 2008).

Вище названу негативну дію високих температур і водного стресу можливо поліпшити шляхом створення та введення у виробництво нових сортів, які характеризуються підвищеним рівнем толерантності до несприятливих умов довкілля. Створення вихідного матеріалу гороху, як і більшості самоzapильних культур, відбувається шляхом гібридизації добраних за окремими цінними ознаками батьківських форм. Як правило, схрещують між собою високопродуктивні сорти, які походять із різних країн світу. На основі такого селекційного матеріалу і формують колекції, які підтримують у ведучих селекційних центрах. Наприклад, сумарна кількість зразків гороху в усіх селекційних установах світу перевищує 94000 і яка є однією з найбільших серед зернобобових культур. На даний момент основу генетичних фондів гороху складають високопродуктивні сорти, створені

в західноєвропейських країнах, Канаді, США, Австралії. Генетичні ресурси цієї культури в Україні нараховують 2634 форм, які походять із 75 країн світу (Безугла та ін., 2014).

Впродовж тривалого періоду виробництво гороху базувалось на вирощуванні сортів, які характеризувались високим стеблом і добре розвиненими складними листками. Як правило, такі генотипи вилягали, що приводило до великих втрат у процесі збирання. Їх спочатку скошували у валки, які впродовж 4–5 днів підсихали, а потім підбирали комбайнами, обладнаними спеціальними жатками. Якщо в період між скошуванням й обмолотом випадали дощі, то часто втрачали весь урожай. Але в кінці минулого сторіччя відбулися «революційні» зміни в технології вирощування культури. Їх основою послужили сорти нового типу, так звані вусаті.

Вперше явище безлисточковості (вусатості) було відкрито в Росії Соловйовою у 1949 році як спонтанна мутація в сорті Свобода. Рослини звичайного (листочкового) морфотипу несуть лист, який включає прилисток, черешок, листочки і вусики. Цей комплекс ознак контролюється домінантним геном Af. Під дією рецесивного гена af листочки складного листка перетворюються у вусики, якими сусідні рослини в посіві зчіплюються одна з одною (Соловйова, 1955). Вусата (безлисточкова) форма листка складається із черешка, який поступово переходить у головну жилку, яка несе багато бокових вусиків.

Безлисточкові короткостеблові форми гороху мають ряд переваг перед листочковими сортами: висока стійкість масиву рослин до вилягання за рахунок сильного розвитку вусиків та зчеплення їх між собою; краща аерація рослин, що менше створює сприятливих умов для розвитку хвороб, шкідників, гниття листостеблової маси. В країнах ЄС та Канаді масове вирощування вусатих форм гороху почалося з 80-х років минулого сторіччя.

Одним із перших сортів такого типу був створений в Данії сорт Солара. Він поклав початок інтенсивній селекції безлисточкових сортів в європейських країнах у 1981–1983 роках. У наступний період були виведені ще більш продуктивні сорти, із яких Лото, Мадонна, Менгір, Плутон, Харді та інші були районовані й в Україні. Із вітчизняних сортів цього типу необхідно відзначити Беркут, Комбайновий 1, Степовик, створені у Луганському інституті АПВ; сорт Світ, виведений у Селекційно-генетичному інституті; Харківський еталонний, Царевич, Глянс та інші селекції Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва.

Деякі автори стверджують, що у зв'язку зі зменшеною листовою поверхнею вусаті генотипи здатні більш тривалий час підтримувати продигову провідність та нижчу температуру рослин за водного стресу (Alvino, Leone, 1993; Semere, Froud Williams, 2001). Але в іншому дослідженні було показано, що загальна листовка поверхня і швидкість транспірації не суттєво різняться в обох типів росту (Gonzales et al., 2001). Крім того, необхідно мати на увазі, що у вусатих генотипів за водного стресу краще підтримується осмос за рахунок накопичення калію, магнію та хлору порівняно з іншими структурними елементами листків (Gonzales et al., 2002).

На початкових етапах селекції сортів такого типу спостерігали понижену їх адаптивність до несприятливих факторів довкілля, особливо до екстримально високих температур та недостачі вологи в ґрунті. Але в процесі створення нового вихідного матеріалу, одержаного шляхом гібридизації сортів різного походження, в тому числі й листочкових, цей недолік був переборений шляхом штучного добору форм, у яких сформувалися позитивні адаптивні генні комплекси. У таких генотипів поступово нагромаджувались локуси генів кількісних ознак, що дозволило зрівнятись з листочковими за стійкістю до біотичних й абіотичних факторів, а в ряді зон і їх перевершити. Поскільки на сучасному рівні селекційна робота з горохом зосереджена, в основному, на створенні високоадаптивних сортів вусатого типу, то ця ознака поступово буде покращуватися в найближчій перспективі.

Деякі автори зазначають, що вусаті сорти гороху мають ряд переваг порівняно з листочковими за посушливих умов, так як вони формують значно меншу листову поверхню (Rodriguez Maribona et al., 1992; Sanchez et al., 2001). Значних успіхів у селекції нових сортів гороху афільного типу досягли селекціонери Всеросійського науково-дослідного інституту зернобобових і круп'яних культур (м. Орел). Під керівництвом проф. Зеленова А.М. тут активно працює колектив селекціонерів, який включає Уварова В.М., Лобанова Н.А., Тітенок Т.С., Мірошникова М.П., Кондикова І.В. Створені ними сорти займають значні площі в різних регіонах країни, а розроблені нові теоретичні напрями селекції успішно впроваджуються в практичну селекційну роботу.

Ми вважаємо, що селекція гороху в найближчі роки буде зосереджена на наступних напрямках. По-перше, це збільшення площі листової поверхні рослин. Перетворення листків у вусики суттєво знижують фотосинтетичну площу. У рослин нового типу головними фотосинтезуючими органами є прилистки, вусики, стебла та створки бобів. На жаль, вусики уступають листкам за вмістом хлорофілу та тривалістю його фотохімічної активності.

Тому модель високопродуктивного вусатого сорту передбачає збільшення площі прилистків до 350 см² на рослині, а вмісту хлорофілу в вусиках не менше 4,5 мг/г сухої речовини (Лаханов, 1997). Крім того, необхідно відмітити, що активність хлоропластів стебла, черешків і створок бобів у безлисточкових сортів значно вища у порівнянні з листочковими. Це головні компенсаторні показники зменшеної площі листової поверхні, які відіграють важливу роль у збільшенні продуктивності рослин поряд зі стійкістю до вилягання стебла та осипання насіння. Відсутність листків дає можливість світловим променям проникати у нижні шари рослин, що значно збільшує загальну фотосинтетичну активність. Необхідно відмітити, що прилистки вусатих сортів за площею значно більші, чим листочкових. Тому подальше нарощуванні їх розмірів селекційним шляхом є перспективним напрямом наукових досліджень. Крім того, листочки у процесі селекції потовщились, у них зросла фотохімічна активність хлоропластів та розрослась губчата паренхіма (Лаханов и др., 1997). Така будова дає можливість збільшити об'єм депонування продуктів фотосинтезу, які в наступний період будуть використані молодими бобами та насінням. Цими авторами було доказано, що чим краще розвинута ця тканина, тим вища продуктивність сорту.

Важливе значення в майбутній селекційній роботі необхідно приділити покращенню адаптивних ознак гороху, особливо посухостійкості. Сучасні високопродуктивні сорти інтенсивного типу дають високі врожаї за умов доброї вологозабезпеченості. Так у 2021 році в нас за вегетаційний період гороху випала річна норма опадів. Не дивлячись на високий рівень вилягання у більшості рекомендованих для вирощування сортів урожайність склала 4–4,5 т/га, а в тих, які не вилягли, вона перевищила 5,0 т/га. А в попередні посушливі роки вона знаходилась в межах 1,0–1,4 т/га, тобто була в 4 рази меншою. На жаль, сорти афільного типу виділяються негативним відношенням до нестачі вологи. Це обумовлено підвищеним водним потенціалом вусиків, що потребує більш високого залишкового водного дефіциту і зниженої водоутримної здатності у репродуктивний період, а також низької інтенсивності транспірації (Новикова, 2009; Новикова, Фенин, 2011). У цих дослідженнях було доказано, що інтенсивність транспірації вусиків була в 2,5 разів меншою порівняно зі звичайними листочками. Крім того, щільність продихів епідерми вусиків також була в 1,9–3,5 разів меншою. З однієї сторони невелика кількість продихів і зменшена інтенсивність транспірації сприяють більш економному використанню води рослинами, але від цих показників залежить швидкість росту і нагромадження надземної маси. Активна транспірація забезпечує також захист рослин від перегріву шляхом підтримання відносно стабільної температури рослин. У Всеросійському НДІ зернобобових і круп'яних культур виділили лінію гороху, яка в досить посушливому році сформувала урожайність на рівні листочкового сорту. Її особливістю полягала в підвищеній водоутримній здатності рослин, вусики мали високий вміст каротиноїдів і зменшений залишковий рівень водного дефіциту (Новикова, Фенин, 2011; Новикова и др., 2011). Певне відставання в селекції гороху на підвищення посухостійкості можливо пояснити також недостатнім розробленням генетичних основ цієї ознаки, а також відсутністю донорів серед світової колекції (Новикова, 2012).

Ретроспективний аналіз росту урожайності гороху свідчить про те, що він був обумовлений не переломним збільшенням біомаси рослин, а мінливістю співвідношення між вегетативною та репродуктивною частинами. За цей період суттєво зросла реутилізація продуктів фотосинтезу на формування бобів і насіння. Збиральний індекс (Кгосп) у нових сортів підвищився з 25–30% до 45–50% (Лаханов и др., 1997). Таким чином, зміна донорсько-акцепторних взаємовідношень явилось одним із головних факторів суттєвого підвищення урожайності. Подальша селекційна робота можлива з доведенням цього показника до 55–60% (Лаханов и др., 1997). Але даний напрям обмежується значенням загальної біологічної продуктивності рослин. Тому дуже важливо знайти донори цієї ознаки, вивчити характер її генетичної мінливості та успадкування. У Всеросійському НДІ зернобобових і круп'яних культур ідентифікували й залучили в селекційний процес нові морфотипи (Зеленов, 1992; Уваров, 1993). Хамелеони характеризуються ярусною гетерофілією, тобто на стеблі почергово формуються як листки, так і вусики, що дає можливість зберегти стійкість проти вилягання та збільшити загальну асиміляційну поверхню. Люпиноїди виділяються обмеженим типом росту та багатоплідністю. На верхівці таких рослин формується один або два плодючих вузли. Поки що суттєвих селекційних результатів за використання цих форм в гібридизації не відомо.

Насіннева продуктивність рослин гороху складається із числа продуктивних вузлів, загальної кількості бобів, числа насінин в бобі, маси однієї насінини. Для отримання високої урожайності необхідне оптимальне

їх поєднання. Значні надії в певний період пов'язувались з використанням в селекції гороху багатоплідності. У генофонді культури існують форми, на яких формується 9–10 бобів порівняно з 5–6 бобами у звичайних генотипів.

Але за посушливих умов не виявили прямого зв'язку врожайності з кількістю бобів на рослині (Вербицький і др., 1997). Це можливо пояснити тим, що за недостатнього зволоження на початкових фазах росту рослини не відчують негативної дії термічних факторів. Тому в цей період формується багато бутонів, квіток, молодих бобів. Упродовж подальшого росту з наростанням температури й дефіциту вологи значна частина репродуктивних органів опадає, а також спостерігається високий рівень абортивності насіння в бобах. Тому спроба створити високоврожайні сорти такого типу не досягли успіху.

За посушливих умов оптимальна висота рослин складає біля 90 см, кількість продуктивних вузлів становить 3,6, бобів на продуктивному вузлі – 1,7, насінин у бобі – 4,2, маса 1000 насінин досягає 230 г (Вербицький, 1989). Рівень кореляційних коефіцієнтів між господарсько цінними ознаками у значній мірі залежить від умов, які діяли впродовж вегетації та рівня врожайності. За дефіциту вологи не виявили чіткої залежності між урожайністю та споріднених з нею елементів продуктивності (Зубов, 1997). За оптимальних умов зволоження врожайність була тісно пов'язана з кількістю бобів і насінин на продуктивному вузлі, числом насінин в бобі й масою 1000 насінин. Зв'язок між урожайністю та висотою стебла впродовж усіх років був від'ємним. Подібні результати були одержані й за умов східної частини Лівобережного Лісостепу України (Василенко, 2007). Установлено, що низькорослі форми гороху більш толерантні до водного стресу, чим високорослі (Iwaya-Inoue et al., 2003). Наявність епікутилярного воску підвищує стійкість до посухи й це дає можливість підтримувати більш оптимальну швидкість залишкової транспірації (Sanchez et al., 2001).

Суттєву роль у стійкості рослин гороху проти дії теплового стресу відіграє добре розвинена коренева система. Польові та лабораторні дослідження шести сортів гороху в Австралії виявили чітку мінливість за цією ознакою (Armstrong et al., 1994). Основна маса коренів (85–87%) у всіх сортів була зосереджена у верхньому 20-сантиметровому шарі. Але у сорту Witrega коріння проникало на глибину до 2 м, тобто на 40 см більше порівняно з іншими сортами. Максимальну евапотранспірацію за польових умов спостерігали зразу після початку цвітіння, потім використання води рослинами різко сповільнювалось паралельно з посиленням температурного стресу. Навпаки, рослини, які вирощували в теплиці, послідовно нарощували кумулятивну транспірацію впродовж репродуктивного періоду. Вирощування 24 сортів гороху різного походження в шести зонах Канади показало, що тепловий стрес підвищує температуру листового пологку з 24,9 °С до 27,8 °С, знижує довжину репродуктивної зони стебла на 37%, скорочує тривалість цвітіння на 21%. За таких умов кількість бобів на рослині падає на 30%, а врожайність насіння на 16% (Tafesse et al., 2019). Сорти, які вивчались, виявили різну реакцію на цей несприятливий фактор. Безлисточкові прямостоячі сорти в меншій мірі пригнічувались високою температурою порівняно зі звичайними сортами листового типу.

Для зон з термінальними посухами, які досить часто зустрічаються в субтропічному регіоні, запропонований тип кореневої системи, особливістю якої є наявність глибокопроникаючих корінців, які дають можливість засвоювати воду із глибоких горизонтів ґрунту (Lynch, 2013; Lilley, Kirkeguard, 2007). Але в багатьох країнах є достатньо глинистих ґрунтів, де дощі випадають впродовж вегетаційного періоду й така волога не проникає в нижні горизонти. Для таких регіонів вище наведена архітектура кореневої системи не підходить. Дослідження показали, що для таких умов кращу врожайність дають генотипи з добре розвинутою кореневою системою у верхньому шарі ґрунту та підвищеною сухою кореневою масою на глибині. Наявність добре розвинутої у верхньому шарі ґрунту кореневої системи дозволяє швидко засвоювати вологу після випадання дощу і таким чином зменшити її випаровування. Високої щільності корінців можливо досягти шляхом добору рослин, які формують багато латеральних тонких корінців, з великою кількістю корневих волосків. На розвиток поверхневих корінців витрачається небагато енергії та живильних елементів. Інтенсивний їх ріст на початку онтогенезу дозволяє пришвидшити нагромадження надземної маси рослин, коли є достатні запаси вологи в ґрунті. Крім того необхідно зазначити, що розвиток латерального коріння характеризується підвищеним рівнем успадкування і менше залежить від факторів довкілля порівняно з головним корене (Le Marie et al., 2019; Sarker et al., 2005). У деяких інших зернобобових культур також був виявлений зв'язок стійкості до посухи з кількістю латеральних корінців (Idrissi et al., 2015; Liu et al., 2011).

Важливо зазначити, що для посухостійкості важливе значення має показник ефективності використання води, який відображає кількість синтезованої біомаси на одиницю затраченої води. Це є ключовий показник, який дає оцінку адаптивності культури за вирощування в суходільних умовах. У цілому, зернобобові культури переважають за цим показником олійну групу, але вступають зерновим (Gan et al., 2009).

Аналіз селекційних досягнень за посушливих умов свідчить, що значно кращі результати одержані за використання стратегії «уникнення посухи» порівняно з «толерантністю» проти неї (Li et al., 2021). За відсутності значної кількості підґрунтової води ідіотип кореневої системи включає такі показники як вертикальна та латеральна довжина коріння, кут його нахилу та діаметр, ефективність використання води рослиною, збиральний індекс і тривалість основних фаз онтогенезу.

Селекційні програми більшості сільськогосподарських культур, засновані на класичних методиках, у наші часи переходять на молекулярний рівень. Мінливість господарсько цінних ознак оцінюється на рівні ДНК, де ідентифіковані певні її частки, які обумовлюють інтенсивність їх вираження. А для низки культур уже побудовані генетичні карти, де розміщені локуси кількісних ознак (QTL), включаючи й ті, що контролюють стійкість до абіотичних і біотичних факторів. Використання молекулярно-генетичних методів дозволяє суттєво прискорити селекційний процес і скоротити строки створення нових сортів. У гороху інтенсивно ведуться наукові дослідження по виявленню генетичних маркерів і в найближчі часи буде побудована генетична карта (Galí et al., 2018). На сьогоднішній день уже відомі маркери таких господарсько цінних ознак як тривалість періоду до цвітіння та дозрівання, стійкості проти вилягання та низки збудників хвороб, крупності насіння, вмісту крохмалю, заліза, селену та цинку в насінні. Суттєво підвищити врожайність гороху, особливо в посушливій степовій зоні, можливо за підзимової сівби (Січкара, Соломонов, 2019; Січкара і др., 2021). За такої технології краще використовується зимово-весняна волога, рослини уникають високих температур у другій половині травня та на початку червня, збирання розпочинається на 15–20 діб раніше. Значна кількість господарств освоїла дану технологію й вирощує горох на площі 200–500 гектарів.

Висновки.

Урожайність нових сортів і рекомбінантних ліній гороху в значній мірі залежить від умов довкілля, які формуються в процесі онтогенезу. За оптимального зволоження та температурного режиму врожайність кращих форм досягає 5,0 т/га, за посухи знижується до 1,0–1,2 т/га.

За значної кількості опадів практично всі рекомендовані для вирощування сорти вилягають. Високий рівень стійкості проти цієї ознаки виявили лише сорти Білий ангел і Босфор.

У контрольному випробуванні виявили низку рекомбінантних ліній з підвищеним рівнем стійкості проти вилягання та врожайністю насіння 5,0–5,7 т/га.

Сорт Оплот виділяється позитивним комплексом донорських ознак, які передаються потомству.

У результаті тривалої селекційної роботи на основі мейотичних рекомбінацій та направленою добору можуть формуватись компенсаторні механізми, які позитивно впливають на адаптивні показники створених форм.

Список використаних джерел

Амелин, А.В. (2001). Морфофизиологические основы повышения эффективности селекции гороха: автореф. дис. на соиск. науч. степени докт. с.-х. наук. Орел. ОрелГАУ. 46 с.

Безугла, О.М., Кобизева, Л.Н., Василенко, А.О., Безуглий, І.М. (2014). Генетична колекція гороху (*Pisum sativum* L.). Селекція і насінництво. Вип. 105. С. 104–122.

Василенко, А.О. (2007). Закономірності формування стійкості до вилягання різних за морфотипом сортів гороху: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук. Харків. 20 с.

Вербицкий, Н.М. (1989). Селекция гороха в условиях недостаточного и неустойчивого увлажнения Северного Кавказа: автореф. дисс. на соискание уч. степени доктора с.-х. наук. Ленинград. 39 с.

Вербицкий, Н.М., Ольховатов, Н.М., Чмых Н.И. (1997). Об элементах продуктивности обычных и мутантных форм гороха в связи с задачами селекции. Научные основы создания моделей агроэкоотипов сортов и зональных технологий возделывания зернобобовых и крупяных культур для различных регионов России. Орелиздат. С. 45–49.

Зеленов, Н.А. (1997). Оригинальный мутант гороха. Селекция и семеноводство. № 2. С. 33–34.

- Зубов, А.Е. (1997). Изменения в структуре признаков продуктивности и их коррелятивной связи с урожаем зерна у сортов нового агроэкоотипа. Научные основы создания моделей агроэкоотипов сортов и зональных технологий возделывания зернобобовых и крупяных культур для различных регионов России. Орёл: Ордиздат. С. 50–55.
- Кириченко, В.В., Кобизева, Л.Н., Петренкова, В.П., Рябчун, В.К., Безугла, О.М., Маркова, Т.Ю. та ін. (2009). Ідентифікація ознак зернобобових культур (горох, соя). За ред. Кириченка В. В. Харків. ІР ім. В.Я. Юр'єва. 172 с.
- Кондаков, И.В. (2008). О стабилизации уровня семенной продуктивности гороха. Повышение устойчивости производства сельскохозяйственных культур в современных условиях. Орёл. С. 309–315.
- Лаханов, А.П., Амелин, А.В., Новикова, Н.Е. (1997). Морфофизиологические модели сорта гороха как средство повышения эффективности селекции. Научные основы создания моделей агроэкоотипов сортов и зональных технологий возделывания зернобобовых и крупяных культур для различных регионов России. Орёл: Ордиздат. С. 24–34.
- Методика проведення експертизи та державного випробування сортів рослин зернових, круп'яних та зернобобових культур. (2003). За ред. Волкодава В. В. Київ. АЛЕФА. 241 с.
- Новикова, Н.Е. (2009). Обмен у растений гороха с разным морфологическим типом листа. Сельскохозяйственная биология. № 5. С. 74–77.
- Новикова, Н.Е. (2012). Проблемы засухоустойчивости растений в аспекте селекции гороха. Зернобобовые и крупяные культуры. № 1. С. 53–58.
- Новикова, Н.Е., Зотиков, В.И., Фенин, Д.М. (2011). Механизмы антиоксидантной защиты при адаптации генотипов гороха (*Pisum sativum* L.) к неблагоприятным абиотическим факторам среды. Вестник ОрелГАУ. № 2. С. 5–8.
- Новикова, Н.Е., Фенин, Д.М. (2011). Влияние морфотипа листа у гороха на показатели водного обмена, определяющие устойчивость растений к засухе. Вестник ОрелГАУ. № 3. С. 13–16.
- Січкач, В.І., Кривенко, А.І., Соломонов, Р.В. (2021). Ефективний метод зростання виробництва гороху в степовій зоні України. Таврійський науковий вісник. Вип. 117. С. 149–157. DOI: 10.32551/2226-0099.2121.117.20.
- Січкач, В.І., Соломонов, Р.В. (2019). Генетичні особливості та стратегія селекції гороху для підзимової сівби. Автохтонні та інтродуковані рослини. Вип. 15. С. 133–143.
- Соловьёва, В.К. (1958). Новые сорта луцильного овощного гороха. Агробиология. № 5 (113). С. 124–126.
- Соболева, Г.В., Суворова, Г.Н., Бобков, С.В., Уваров, В.Н. (2014). Результаты селекции гороха на засухоустойчивость. Земледелие. № 4. С. 21–23.
- Уваров, В.Н. (1993). Люпиноид – новый тип детерминантности у гороха. Селекция и семеноводство. № 5–6. С. 19–20.
- Хухлаев, И.И., Коблай, С.В. (2014). Урожайність сортів гороху за умов посухи. Збірник наукових праць СГП-НЦНС. Вип. 23 (63). С. 37–42.
- Abeyningha, G.L.D.N. (2015). The effect of auxins on seed yield parameters in wheat, pea and canola grown under controlled environment and western Canadian field condition. M. Sc. thesis. University of Alberta, Edmonton.
- Alvino, A, Leone, A. (1993). Response to low soil water potential in pea genotypes (*Pisum sativum* L.) with different leaf morphology. Sci. Hort. v. 53. P. 21–34. DOI: 10.1016/0304-4238(93)90134 C.
- Awasthi, R., Kaushal, N., Vadez, V., Turner, N. C., Berzer, J, Siddique, K. H., Nayyar, H. (2014). Individual and combined effects of transient drought and heat stress on carbon assimilation and seed filling in chickpea. Funct. Plant Biol. v. 41. N10–11. P. 1148–1167. DOI: 10.1071/FP133 Y6.
- Barnabas, B., Jäger, K., Feher, A. (2008). The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. Plant Cell Environ. v. 31. P. 11–38. DOI: 10.1111/j.1365-3040.2007.01727.X.
- Bitá, C.E., Gerats, T. (2013). Plant tolerance to high temperature in a changing environment: scientific fundamentals and production of heat tolerance crops. Front. Plant Sci. 4273. DOI: 10.3389/fpls.2013.00273.
- Berger, J.D. (2007). Ecogeographic and evolutionary approaches to improving adaptation of autumn-sown chickpea (*Cicer arietinum* L.) to terminal drought: The search for reproductive chilling tolerance. Field Crop Res. v. 104. N1–3. P. 112–122. DOI: 10.1016/J.fcr.2007.03.021.

- Berger, J. D., Buck, R., Henzell, J. M., Turner, N. C. (2005). Evolution in the genus *Cicer* — vernalization response and low temperature pod set in chickpea (*Cicer arietinum* L.) and its annual wild relatives. *Aust. J. Agric. Res.* v. 56. N. 11. P. 1191–1200. DOI: 10.1071/AR.05089.
- Berger, J. D., Kumar, S., Nayyar, H., Street, K. A., Sandhu, J. S., Henzell, J. M., Clarke, H. C. (2012). Temperature — stratified screening of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genetic resource collections reveals very limited reproductive chilling tolerance compared to its annual wild relatives. *Field Crop Res.* v. 126. P. 119–129. DOI: 10.1016/J.fcr.2011.09.020.
- Berger, J. D., Turner, N. C., Siddique, K. H. M., Knights, E. J., Brinsmead, R. B., Mock, I... Khan, T. N. (2004). Genotype by environment studies across Australia reveals the importance of phenology for chickpea (*Cicer arietinum* L.) improvement. *Aust. J. Agric. Res.* v. 55. N. 10. P. 1071–1084. DOI: 10.1071/AR04104.
- Basu, P. S., Ali, M., Chaturvedi, S. K. (2009). Terminal heat stress adversely affects chickpea productivity in Northern India—strategies to improve thermotolerance in the crop under climate change, ISPRS archives XXXVIII-8/W3 Workshop Proceedings: Impact of Climate change on Agriculture. P. 189–193.
- Bueckert, R. A., Clarke, J. M. (2013). Review: annual crop adaptation to abiotic stress on the Canadian prairies: six case studies. *Can. J. Plant Sci.* v. 93. N3. P. 375–385. DOI: 10.4141/cjps.2012-184.
- Clarke, H., Khan, T. N., Siddique, K. H. M. (2004). Pollen selection for chilling tolerance at hybridization leads to improved chickpea cultivars. *Euphytica.* v. 139. N. 1. P. 65–74. DOI: 10.1007/s10681-004-2466-y.
- Clarke, H. J., Siddique, K. H. M. (2004). Response of chickpea to low temperature stress during reproductive development. *Field Crop Res.* v. 90. N2–3, P. 323–334. DOI: 10.1016/j.fcr.2004.04.001.
- Considine, M. J., Siddique, K. H., Foger, C. H. (2017). Nature's pulse power: legumes, food security and climate change. *J. Exp. Bot.* v. 68. N8. P. 1815–1818. DOI: 10.1093/jxb/erx099.
- Devasirvatham, V., Gaur, P. M., Raju, T. N., Trethowan, R. M., Tan, D. K. Y. (2015). Field response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) to high temperature. *Field Crop Sci.* v. 172. P. 59–71. DOI: 10.1016/J.fcr.2014.11.017.
- Gaur, P. M., Aravind, K., Jukanti, S., Samineni, S. K., Chaturvedi, P. S., Basu, P. S., Gowda, L. (2013). Climate change and heat stress tolerance in chickpea. *Climate change and plant abiotic stress tolerance*. Ed. Tuteja N., Gill S. Wiley-Blackwell. P. 837–856. DOI: 10.1002/9783527675265.
- Gonzalez, E. M., Arrese, I. C., Aparicio, Tejo, P. M., Royuela, M., Koyro, H. M. (2001). Osmotic adjustment in different leaf structures of semileafless pea (*Pisum sativum* L.) subjected to water stress developments in plant and soil sciences. *Plant nutrition. Food security and sustainability of agro-ecosystems through basic and applied research*. Kluwer academic publishers. New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow. P. 374–375.
- Gonzalez, E. M., Arrese, I. C., Aparicio, Tejo, P. M., Royuela, M., Koyro, H. W. (2002). Solute heterogeneity and osmotic adjustment in different leaf structures of semi-leafless pea (*Pisum sativum* L.) subjected to water stress. *Plant Biol.* v. 4. N5. P. 538–556. DOI: 10.1055/s-2002-35431.
- Gan, Y., Campbell, C., Liu, L., Basnyat, P., McDonald, C. (2009). Water use and distribution profile under pulse and oilseed crops in semi-arid northern high latitude areas. *Agric. Water Manag.* v. 96. N2. P. 337–348. DOI: 10.1016/j.agwat.2008.08.012.
- Gali, K. K., Liu, Y., Sindhu, A., Piapan, M., Shunmugam, A. S. K., Arganosa, G... Warkentin, T. D. (2018). Construction of high-density linkage maps for mapping quantitative trait loci for multiple traits in field pea (*Pisum sativum* L.). *BMC Plant Biol.* v. 18:172. DOI: 10.1186/s12870-018-1368-4.
- Gladish, D. K., Rost, T. L. (1993). The effects of temperature on primary root growth dynamics and lateral root distribution in garden pea [*Pisum sativum* L. cv "Alaska"]. *Environ. Exp. Bot.* v. 33. P. 243–258. DOI: 10.1016/0098-8472(93)90070-v.
- Guilioni, L., Wéry, J., Lecoeur, J. (2003). High temperature and water deficit may reduce seed number in field pea purely by decreasing plant growth rate. *Funct. Plant Biol.* v. 30. N11. P. 1151–1167. DOI: 10.1071/FP03105.
- Huve, K., Bichele, I., Tobias, M., Niinemets, U. (2005). Heat sensitivity of photosynthetic electron transport varies during the day due to changes, sugars and osmotic potential. *Plant Cell Environ.* v. 29. N P. 211–218. DOI: 10.1111/j.1305-3040.2005.0141y.x.

Haldimann, P., Feller, U.R.S. (2005). Growth at moderately elevated temperature alters the physiological response of the photosynthetic apparatus to heat stress in pea (*Pisum sativum* L.) leaves. *Plant Cell Environ.* v. 28. N3. P. 302–317. DOI: 10.1111/j.1365-3040.2005.01324.x.

Jdrissi, O., Houasli, C., Udupa, S.M., De Keyser, E., Van Damme, P., De Rick, J. (2015). Genetic variability for root and shoot traits in a lentil (*Lens culinaris* Medik.) recombinant inbred line population and their association with drought tolerance. *Euphytica.* v. 204. N3. P. 693–709. DOI: 10.1007/s10681-015-1373-8.

Iwaya-Inoue, M., Motooka, K., Ishibashi, Y., Fukuyama, M. (2003). Characteristic water status in dwarf pea in relation to drought resistance. *J. Fac. Agr. Kyushu Univ.* v. 48. N1–2. P. 29–38. DOI: 10.5103/4523.

Jiang, Y., Lahlali, R., Karunakaran, C., Kumar, S., Davis, A. R., Bueckert, R.A. (2015). Seed set, pollen morphology and pollen surface composition response to heat stress in field pea. *Plant Cell Environ.* v. 38. N14. P. 2387–2397. DOI: 10.1111/pce. 12589.

Jiang, Y., Lahlali, R., Karunakaran, C., Warkentin, T.D., Davis, A.R., Bueckert, R.A. (2019). Pollen, ovules, and pollination in pea. Success, failure, and resilience in heat. *Plant Cell Environ.* v. 42. N1. P. 354–372. DOI: 10.1111/pce. 13427.

Jeuffroy, M.H., Lecoq, J., Roche, R. (2010). The seed number. *Physiology of the pea crop.* Manier-Jolain N., Biarnes V., Chaillet I., Lecoq J., Jeuffroy M. H. (eds). CRC Press. Enfield, P. 104–131.

Kaushal, N., Awasthi, R., Gupta, K., Gaur, P. M., Siddique, K. H. M., Nayyar, H. (2013). Heat-stress-induced reproductive failures in chickpea (*Cicer arietinum* L.) are associated with impaired sucrose metabolism in leaves and anthers. *Funct. Plant Biol.* v. 40. P. 1334–1349. DOI: 10.1071/FP 13082.

Kaushal, N., Gupta, K., Bhandari, K., Kumar, S., Thakur, P., Nayyar, H. (2011). Proline induces heat tolerance in chickpea (*Cicer arietinum* L.) plants by protecting vital enzymes of carbon and antioxidative metabolism. *Physiol. Mol. Biol. Plants.* v. 17. N3: 203. DOI: 10.1007/s12298-011-0078-2.

Kadiyala, M.D.M., Kumara, C. D., Nedamaran, S., Shyam, M. Gumma, M.K., Bantilan, M. C. S. (2016). Agronomic management options for sustaining chickpea yield under climate change scenario. *J. Agrometeorol.* v. 18, N1. P. 41–47.

Kumar, S., Malik, J., Thakur, P., Kaistha, S., Sharma, K. B., Upadhyaya, H.D... Nayyar, H. (2011). Growth and metabolic responses of contrasting chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes to chilling stress reproductive phase. *Acta Physiol. Plant.* v. 33. N3. P. 779–787. DOI: 10.1007/s11738-010-0602-y.

Kumar, S., Thakur, P., Kaushal, N., Malic, J. A., Gaur, P., Nayyar, H. (2013). Effect of varying high temperatures during reproductive growth on reproductive function, oxidative stress and seed yield in chickpea genotypes differing in heat sensitivity. *Arch. Agron. Soil Sci.* v. 59. N6. P. 823–843. DOI: 10.1080/03650340. 2012.683424.

Kobrace, S., Shamsi, K., Rasekhi, B. (2010). Investigation of correlation analysis and relationships between grain yield and other quantitative traits in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Afr. J. Biotechnol.* v. 3. N16. P. 2342–2348.

Lynch, J. P. (2013). Steep, cheap and deep: An ideotype to optimize water and N acquisition by maize root systems. *Ann. Bot.* v. 112. N2. P. 347–357. DOI: 10.1093/aob/mcs 293.

Liu, L., Gan, Y., Bueckert, R.A., Van Rees, K. (2011). Rooting systems of oilseed and pulse crops. II. Vertical distribution patterns across the soil profile. *Field Crops.* v. 122. N3. P. 248–255. DOI: 10.1016/j.fcr.2011. 04. 003.

Lilley, J. M., Kirkegaard, J. A. (2007). Seasonal variation in the value of subsoil water to wheat. Simulation studies in southern New South Wales. *Aust. J. Agric. Res.* v. 58. N12. P. 1115–1128. DOI: 10.1071/AR07046.

Li, P., Ma, B., Palta, J. A., Ding, T., Cheng, Z., Lv, G., Xiong, Y. (2021). Wheat freeding highlights drought tolerance while ignores the advantages of drought avoidance: A meta-analysis. *Eur. J. Agron.* v. 122: 126156. DOI: 10.1016/j.eja. 2020.126196.

Le Marie, C.A., York, L.M., Strigens, A., Malosett, M., Camp, K.H, Geuliani, S., Hund, A. (2019). Shovelomics root traits assessed on the EURoot maize panel are highly heritable across environments but show low genotype-by-nitrogen interaction. *Euphytica.* v. 215: 175. DOI: 10.1007/s10681-019-2472-8.

McVa, y K., Burrows, M., Menalled, F., Jones, C., Wanner, K.O., O'Neill, R. (2013). Montana cool-season pulse. Production Guide. Montana State University Extension Service. 28 p.

- Nayyar, H., Bains, T.S., Kumar, S., Kaur, G. (2005). Chilling effects during seed filling on accumulation of seed reserves and yield of chickpea. *J. Sci. Food Agric.* v. 85. N11. P. 1925–1930. DOI: 10.1002/jsfa.2198.
- Nayyar, H., Kaur, G., Kumar, S., Upadhyaya, H.D. (2007). Low temperature effects during seed filling on chickpea genotypes (*Cicer anistinum* L.): probing mechanisms affecting seed reserves and yield. *J. Agric. Crop sci.* v. 193. N5. P. 336–344. DOI: 10.1111/j. 1439.037x.2007.00269.x.
- Ozga, J.A., Kaur, H., Savada, R.P., Rechecke, D. M. (2017). Hormonal regulation of reproductive growth under normal and heat-stress conditions in legume and other model crop species. *J. Exp. Bot.* v. 68. P. 1885–1894. DOI: 10.1093/jxb/erw464.
- Ozga, J. A., Reinecke, D.M., Ayele, B.T., Ngi, P., Nadeau, C., Wickramarathane, A. D. (2009). Developmental and hormonal regulation of gibberellin biosynthesis and catabolism in pea fruit. *Plant Physiol.* v. 150. N1. P. 448–462. DOI: 10.1104/pp. 108.132027.
- Petkova, V., Nikolova, V., Kalapchieva, S.H., Stoeva, V., Topalova, E., Angelova, S. (2009). Physiological response and pollen viability of *Pisum sativum* genotypes under high temperature influence. *Acta Hort.* v. 830. P. 665–672. DOI: 10.17660/ActaHortic.2003.830.96.
- Rani, A., Devi, P., Jha, U. C., Sharma, K. D., Siddique, K.H.M., Nayyar, H. (2020). Developing climate-resilient chickpea involving physiological and molecular approaches with a focus on temperature and drought stresses. *Front. Plant sci.* v. 10. 1759. DOI: 10.3389/ fpls.2019. 01759.
- Rubiales, D., Gonzalez-Bernal, M.J., Warkentin, T., Bueckert, T., Vaz Pato, M.C., McPhee, K., McGee, R., Smykal, P. (2019). Advances in pea breeding. Hochmuth G. (ed.). *Achieving sustainable cultivation of vegetables.* Burleigh Dodds Sci. Publ. Cambridge. P. 575–606. DOI: 10.19103/AS.2013.0045.28.
- Rodriguez, Maribona, B., Tenorio, J.L., Conde, J. R., Ayerbe, L. (1992). Correlation between yield and osmotic adjustment of peas (*Pisum sativum* L.) under drought stress. *Field Crops Res.* v. 29. N1. P. 15–22. DOI: 10.1016/1378-4230(92)90072-H.
- Sarker, A., Erskine, W., Singh, M. (2005). Variation in shoot and root characteristics and their association with drought tolerance in lentil landraces. *Genet. Resour. Crop Evol.* v. 52. N1. P. 79–87. DOI: 10.1007/s10722-005-0289-x.
- Semere, T., Froud Williams, R.J. (2001). The effect of pea cultivar and water stress on root and shoot competition between vegetative plants of maize and pea. *J. Appl. Ecol.* v. 38. N1. P. 137–145. DOI: 10.1046/j.1365-2664.2001.00570.7.
- Stavang, J. A., Lindgard, B., Ernstsén, A., Lid, S.E., Moe, R., Olsen, J. E. (2005). Thermoperiodic stem elongation involves transcriptional regulation of gibberellin deactivation in pea. *Plant Physiol.* v. 138. N4. P. 2344–2353. DOI: 10.1104/pp. 105.063149.
- Sadras, V.O., Lake, L., Leonforte, A., McMurray, L. S., Paull, J. G. (2013). Screening field pea for adaptation to water and heat stress, associations between yield, crop growth rate and seed abortion. *Field Crops Res.* v. 150. P. 63–73. DOI: 10.1016/j. fer.2013.05.023.
- Siddique, K.H.M., Loss, S.P., Regan, K.L., Jettner, R. I. (1999). Adaptation and seed yield of cool season grain legumes in Mediterranean environments of south-western Australia. *Aust. J. Agric. Res.* v. 50. N3. P. 375–388. DOI: 10.1071/A98096.
- Sanchez, F.J., Manzanares, M., De Andres, E.F., Tenorio, J.L., Ayerbe, L. (2001). Residual transpiration rate, epicuticular wax load and leaf colour of pea plants in drought conditions: influence on harvest index and canopy temperature. *Eur. J. Agron.* v. 15. N1. P. 57–70. DOI: 10.1016/S1161-0301(01)00091-6.
- Sehgal, A., Sita, K., Nayyar, H. (2016). Heat stress in plants: sensing and defense mechanisms. *J. Plant Sci. Res.* v. 32. N.2. P. 195–210.
- Tabori, R.M., Drienyovszki, N.M., Dobrahzski, J. (2011). Models and tools for studying drought stress responses in peas. *J. Integr. Biol.* 2015. v. 15. N12. P. 829–858. DOI: 10.1089/omi.2011.0090.
- Thakur, P., Kumar, S., Malik, J. A., Berger, J. D., Nayyar, H. (2010). Cold stress effects on reproductive development in grain crops: an overview. *Env. Exp. Bot.* v. 67. N3. P. 429–443. DOI: 10.1016/j. envexpbot.2009.09.004.

Tafesse, E.G., Warkentin, T.D., Bueckert, K.A. (2019). Canopy architecture and life type as traits of heat resistance in pea. *Field Crops Res.* v. 241: 107561. DOI: 10.1016/j.fcr.2013.107561.

Vara Prasad, P.V., Staggenbory, S.A., Ristic, Z. (2008). Impacts of drought and/or heat stress on physiological, developmental, growth, and field processes of crop plants. Response of crops to limited water: understanding and modeling water stress effects on plant growth processes, advances in agricultural systems modeling series. Eds Ahorja L. H., Saseendran S. A. Madison, WI: CSSA. P. 301–355.

Wahid, A., Gelani, S., Astraf, M., Fodad, M. (2007). Heat tolerance in plants: an overview. *Environ. Exp. Bot.* v. 61. N3. P. 199–223. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2007.05.018.

Wang, J., Gan, Y.T., Clarke, F., McDonald, C.I. (2006). Response of chickpea yield to high temperature stress during reproductive development. *Crop Sci.* 2006. v. 46. N5. P. 2171–2178. DOI: 10.2135/cropsci.2006.02.0092.

УДК 712.413

DOI 10.37555/2707-3114.1.2021.247728

Видовий склад та поширення роду *Liquidambar* L. (ALTINGIACEAE) в Україні

Смілянець Н. М., Світилко І. М.

Національний ботанічний сад імені М. М. Гришка НАН України, м. Київ, e-mail: scientist@nbg.kiev.ua

Species composition and distribution of the genus *Liquidambar* L. (ALTINGIACEAE) in Ukraine

Smilyanets N. M., Svitylko I. M.

M. M. Gryshko National Botanical Garden of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, e-mail: scientist@nbg.kiev.ua

Анотація. З метою дослідження видового складу та поширення роду *Liquidambar* L. (ALTINGIACEAE) в Україні проведено скринінг понад 50 установ (ботанічні сади, дендропарки, парки, сквери) України. Зафіксовано *L. styraciflua* L. — в 26 ботанічних садах, парках, скверах тощо; *L. formosana* Hanse — в 2 ботанічних садах; а також декоративні форми *L. styraciflua* 'Variegata pendula' — в одному дендропарку; *L. styraciflua* 'Worplesdon' — в озелененні міського парку; *L. styraciflua* 'Pasquali' — в озелененні міського парку. Поширення видів *L. orientalis* Mill. та *L. acalicina* Hang N. Chang потребують подальших досліджень. Позитивний досвід використання представників роду *Liquidambar* зафіксовано в наступних областях України: Закарпатська, Тернопільська, Львівська, Дніпропетровська, Київська, Черкаська, Чернівецька, Харківська, Донецька, а також в Автономній республіці Крим. Аналізуючи отримані дані, можна стверджувати про перспективність використання представників роду *Liquidambar* в ландшафтному будівництві для створення груп або в якості солітерів у парках, скверах, зоопарках, лісопарках, при озелененні вулиць, бульварів, площ, прибудинкових територій, адміністративних будівель, приватних садів, в експозиціях ботанічних садів та дендропарків.

Ключові слова: *Liquidambar*, ліквідамбар, поширення, ландшафтне будівництво.

Abstract. A screening of 50 institutions (botanical gardens, arboretums, parks, squares) was conducted with a view to study of species composition and the distribution of genus *Liquidambar* L. (ALTINGIACEAE) in Ukraine. *L. styraciflua* L. was recorded — in 26 botanical gardens, parks, squares etc; *L. formosana* Hanse — in 2 botanical gardens; decorative forms *L. styraciflua* 'Variegata pendula' — in one arboretum; *L. styraciflua* 'Worplesdon'; — in landscaping of the city park; *L. styraciflua* 'Pasquali' — in landscaping of the city park. Distribution of the species *L. orientalis* Mill. and *L. acalicina* Hang N. Chang need more research. Positive experience of using representatives *Liquidambar* genus registered in the following regions of Ukraine: Zakarpattia, Ternopil, Lviv, Dnipropetrovsk, Kyiv, Cherkasy, Chernivtsi,