

МІЩЕНКО С. В.^{1,2✉}, КАБАНЕЦЬ В. М.², КИРИЧЕНКО Г. І.², МАРЧЕНКО Т. Ю.³,
МАЧУЛЬСЬКИЙ Г. М.⁴

¹ Глухівський національний педагогічний університет імені Олександра Довженка,
Україна, 41400, Сумська обл., м. Глухів, вул. Київська, 24, ORCID: 0000-0002-1979-4002

² Інститут луб'яних культур НААН України,

Україна, 41400, Сумська обл., м. Глухів, вул. Терещенків, 45, ORCID: 0000-0002-1979-4002, 0000-0003-3609-3141, 0000-0002-5981-7184

³ Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН України,

Україна, 67667, м. Одеса, Хлібодарське, вул. Маяцька дорога, 24, ORCID: 0000-0001-6994-3443

⁴ Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т. Г. Шевченка,

Україна, 14013, м. Чернігів, вул. Гетьмана Полуботка, 53, ORCID: 0000-0002-7164-1695

✉ serhii-mishchenko@ukr.net

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЯВУ ОЗНАК ОДНОДОМНИХ КОНОПЕЛЬ В ПРОЦЕСІ ІНБРИДИНГУ ТА ЙОГО ВИКОРИСТАННЯ В СЕЛЕКЦІЇ

Мета. Встановити особливості прояву біологічних і селекційних ознак, рівня інбредної депресії у процесі самозапилення рослин однодомних конопель різних еколого-географічних типів та напрямів господарського використання.

Методи. Використано селекційні (самозапилення, добір, гібридизація), польові та лабораторні методи досліджень, елементи математичної статистики. Об'єкт досліджень – самозапилені лінії І₁–І₁₂ сортів Глухівські 58, Глесія і Золотоніські 15. **Результати.** Внаслідок самозапилення індивідуальних рослин однодомних промислових конопель встановили факт інбредної депресії, стабілізації цінних селекційних ознак і диференціації ліній за певними властивостями, а в окремих – високу комбінаційну здатність (з І₄–І₆ їх вже доцільно залучати до схрещувань). **Висновки.** Головним позитивом від використання інбридингу є стабілізація селекційного матеріалу за ознакою високої продуктивності, за статевою структурою і відсутністю канабіноїдних речовин, створення інбредних ліній як компонентів гібридів і синтетичних популяцій. У процесі доборів у гібридних популяціях не відбувається істотного розщеплення селекційних ознак, вони зберігають свою однорідність. Таким чином, прискорюється селекційний процес створення нових сортів конопель.

Ключові слова: коноплі, самозапилені лінії, інбредна депресія, продуктивність, селекція.

Селекція перехреснозапильних видів рослин має свої специфічні особливості й усклад-

нюється пошуком батьківських компонентів, які б забезпечили прояв у потомстві високої продуктивності за однією чи кількома ознаками та збереження її у низці послідовних генерацій. Досить часто при цьому беруть за основу інбредні лінії, які використовують для створення гібридів з ефектом гетерозису. Самозапилені лінії створюють шляхом багаторазового самозапилення до 6–10 покоління (тобто потрібно витратити на це 6–10 років або 3–5 років за умови, що провести самозапилення і отримати повноцінне насіння можна двічі на рік). Селекція інбредних ліній може проводитися методами добору, однієї насінини, подвоєних гаплоїдів та ін. [1]. Основна особливість інбридингу, яка цікавить селекціонера – це зменшення або й втрата гетерозиготності. Гетерозиготні особини перехреснозапильних культур, як правило, у популяції мають вищу адаптованість до чинників середовища, ніж гомозиготні особини. Однак, самозапилення і перехід до гомозиготності супроводжується появою інбредної депресії, яка проявляється у зменшенні розмірів і форми рослин, інтенсивності росту, фертильності, загальної біомаси та урожайності насіння, чутливості до абіо- та біотичних стресів. Незважаючи на те, що інбридинг і гетерозис були описані більше століття тому, єдиної загальноприйнятої їхньої теорії не існує [2].

Класичні генетичні дослідження та сучасні генетично-еволюційні підходи зазвичай інбредну депресію пов'язують з переходом шкідливих рецесивних алелів і мутацій у гомозигот-

© МІЩЕНКО С. В., КАБАНЕЦЬ В. М., КИРИЧЕНКО Г. І., МАРЧЕНКО Т. Ю.,
МАЧУЛЬСЬКИЙ Г. М.

ний стан [3]. Вважається, що інбредна депресія може виникати внаслідок взаємодії шкідливих алелів і/або втрати наддомінантних алелів у результаті підвищеної гомозиготності, але ці запропоновані генетичні моделі не здатні повністю пояснити дане біологічне явище. Повідомляється про епігенетичні зв'язки з інбредною депресією у кукурудзи, зокрема про явище гіперметилування ДНК, що супроводжується зниженням доступності хроматину, і підвищений рівень репресивних гістонових міток. У результаті схрещувань інбредного матеріалу виникають зворотні епігенетичні модифікації і відновлення енергії росту і розвитку рослин [4].

Самозапилені лінії на сучасному етапі розвитку науки та агропромисловості широко досліджують і використовують у сучасній селекції як традиційних культур [5, 6], так і малопоширених та нішевих [7, 8]. Актуальність наукового дослідження впливу інбридингу на зміни життєво необхідних біологічних і цінних селекційних ознак сучасних однодомних конопель зумовлена певною нестачею наукових джерел з цієї тематики. Оскільки у конопель, як біологічного виду, не виявлено ЦЧС, гетерозисні гібриди у виробництві наразі відсутні. Це зумовлює необхідність комплексного аналізу самозаплених ліній саме нових сортів, що характеризуються стабільністю основних селекційних ознак та які створені за умови обмеженої кількості родоначальних рослин у селекційних розсадниках. Також актуальною є потреба в розширенні генотипу селекційного матеріалу, який би відповідав сучасним вимогам виробництва. Усі ці фактори й зумовили вибір теми нашого дослідження.

Мета досліджень – встановити особливості прояву біологічних і селекційних ознак, рівня інбредної депресії у процесі самозапилення рослин однодомних конопель різних еколого-географічних типів та напрямів господарського використання.

Матеріали і методи

Дані дослідження були проведені на експериментальній базі Інституту луб'яних культур НААН (у м. Глухів Сумської обл.) у 2008–2023 рр. Вихідним матеріалом для самозапилення слугували родоначальні рослини сортів різних напрямів господарського використання середньоевропейського еколого-географічного типу

Глухівські 58 (Вікторія) і Глесія, сорт південного еколого-географічного типу Золотоніські 15. Самозапилення до I_{12} проводили під індивідуальними ізоляторами (матеріал типу агроволокна). Потомство аналізували за основними селекційними морфологічними, технологічними ознаками і насінневою продуктивністю в умовах розсадника оцінки, площа живлення рослин – 30 x 5 см. Також визначали ефективність залучення кращих інбредних ліній до схрещувань за результатами конкурсного сортовипробування селекційних номерів.

Результати та обговорення

Дослідження показало, що самозапилення однодомних промислових конопель, як і інших сільськогосподарських культур, призводить до зниження гетерозиготності. Це, у свою чергу, сприяє стабілізації селекційних ознак і розподілу ліній за певними характеристиками. Водночас спостерігається інбредна депресія, що проявляється уповільненням росту і розвитку, зменшенням продуктивності, частково життєздатності, а також зниженням стійкості рослин до впливу абіотичних і біотичних чинників довкілля.

У I_1 Глухівські 58 (середньоевропейський еколого-географічний тип, універсальний напрям господарського використання), порівняно з вихідними рослинами (I_0), дещо зменшилася висота рослин, технічна довжина і діаметр стебла, більш ніж на 10 % – маса стебла і – маса волокна з рослини, разом з тим майже не зазнала змін ознака вмісту волокна. Це пояснюється тим, що вміст волокна є відносною ознакою (маса волокна поділена на масу стебла і помножена на 100 %), яка зазвичай підвищується на тлі зменшення маси стебла і волокна – ключових факторів, що визначають високу врожайність волокна (з певної одиниці площі). Варто зазначити, що для науковців-селекціонерів особливо цінними є генотипи, які одночасно поєднують високий вміст волокна з великою масою стебла і волокна. Крім того, маса насіння знизилася на 11,3 %, а крупність насіння (маса 1000 насінин) – на 8,1 %. Отже, вже в першому поколінні самозапилення, як крайньої форми близькосторідного розмноження, всі основні цінні господарські ознаки культури певною мірою зазнали змін (рис. 1).

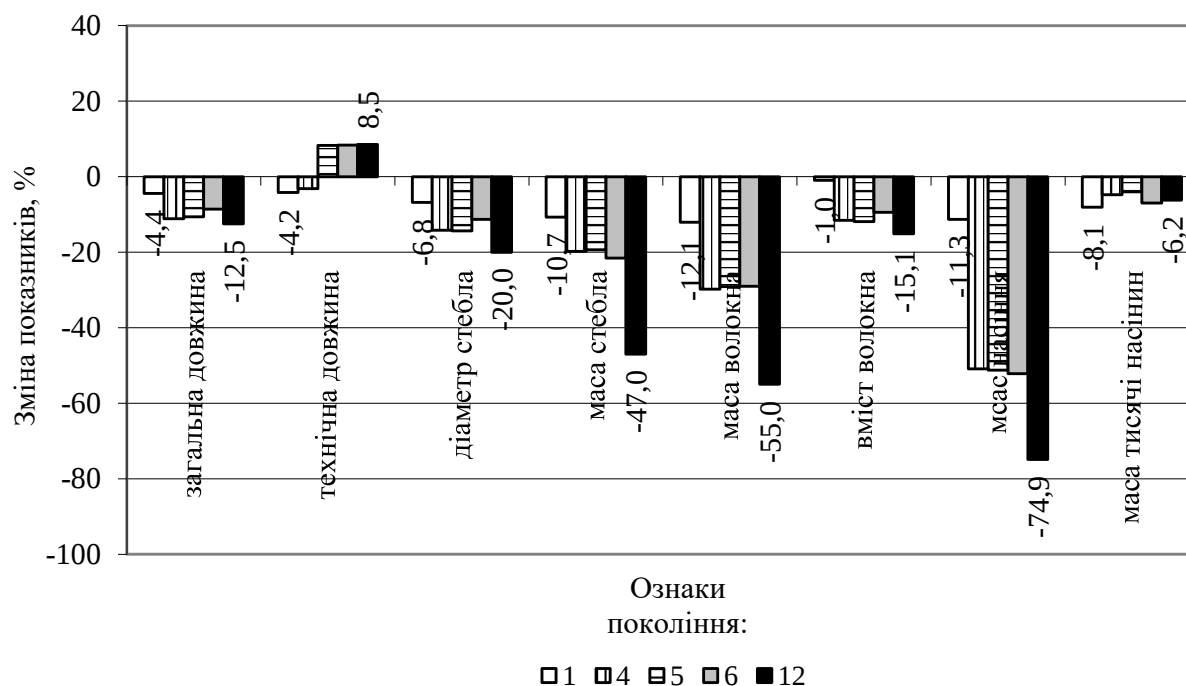


Рис. 1. Характер зміни показників цінних селекційних ознак сорту Глухівські 58 у процесі самозапилення (2009–2020 рр.).

У процесі подальшого самозапилення спостерігали поступове зростання депресії аж до досягнення інбредного мінімуму. Відтак, стабілізація досліджуваних ознак у самозапилених ліній сорту Глухівські 58 (як і інших сортів) наступала у I_4 – I_6 . Як свідчить практика, саме з цих поколінь селекційний матеріал доцільно залучати до схрещувань з метою створення нового вихідного матеріалу, а також отримання у потомстві явища гетерозисного ефекту. Загальна висота рослин конопель в I_6 знизилась на 11,1 %, технічна довжина стебла – на 3,2 % у I_4 , а потім збільшилась на 8,3 і 8,4 % (I_5 , I_6 відповідно), що є специфічною реакцією генотипу на інбридинг, а саме на тлі зменшення висоти рослин технічна довжина стебла збільшується, але одночасно істотно зменшується довжина суцвіття, яка значно детермінує насінневу продуктивність. Такі ознаки, як діаметр стебла, у цих поколіннях зменшувався на 11,3–14,4 %, у свою чергу маса стебла – на 19,4–21,6 %, а маса волокна – на 29,0–29,8 %. Вміст загального волокна у стеблах зменшився на 9,4–11,9 %, маса насіння з рослини – на 50,9–52,2 %, маса 1000 насінин – на 4,0–7,0 %. Таким чином, простежується наступна тенденція: найвищий рівень депресії властивий ознакам маси стебла, волокна і, особливо, маси насіння з рослини, показники якої зменшились приблизно удвічі (рис. 1).

У I_{12} рослини конопель стали низькопродуктивними, зокрема майже удвічі зменшилась маса стебла і волокна (–47,0 та –55,0 %), насіннева продуктивність була на 74,9 % меншою, порівняно з I_0 . Спостерігалось при цьому зростання технічної довжини стебла конопель (близько на четверту частину від початкового), яке корелює зі зменшенням довжини суцвіття, яке значною мірою формує насінневу продуктивність у досліджуваної агрокультури. Зниження рівня прояву селекційних ознак у пізніх інбредних поколіннях варто пов'язати не стільки з затримкою досягнення інбредного мінімуму у конопель, скільки зі зміною поліморфної статеві структури популяції (домінуванням алелів чоловічої статі). Зокрема, унаслідок репродуктивної депресії, починаючи з шостого покоління, більшість потомства становлять рослини однодомної фемінізованої плосконі, які характеризуються переважанням чоловічих квіток у суцвітті та значними відмінностями в експресії цінних господарських ознак. Водночас скорочення кількості самозапилених ліній, здатних давати життєздатне потомство, обмежує можливість відбору продуктивного селекційного матеріалу для подальшого розмноження. Сукупність наведених чинників і сприяє подальшому розвитку інбредної депресії (рис. 1).

Досить подібно до попереднього варіанту

у самозапиленних ліній сорту Золотоніські 15 (південний еколого-географічний тип, волокнистий та біоенергетичний напрям господарського використання), вже у першому поколінні від самозапилення спостерігали чітко виражену інбредну депресію, при цьому зниження рівня експресії основних селекційних ознак від 4,0 % (діаметр на середині технічної довжини стебла) до 20,6 % (маса насіння з рослини). Слід зауважити, що виняток становила ознака маси 1000 насінин – у I_1 спостерігали збільшення показників на 6,8 %, порівняно з I_0 , інбредна депресія наступила лише у I_5 . Можна припустити, що це є специфічною реакцією даного генотипу на близькоспоріднене розмноження (рис. 2).

Подібна стабілізація досліджуваних нами ознак спостерігалася у поколіннях I_4 – I_6 Золотоніські 15. При цьому висота рослин зменшилася на 8,6–10,4 %, така важлива технологічна ознака, як технічна довжина стебла, – на 4,2–4,8 % (саме це відрізняє самозапилені лінії даного сорту від нащадків крайньої форми інбридингу сорту Глухівські 58), діаметр стебла – на 4,8–9,9 %, маса стебла і волокна – приблизно на третину, вміст загального волокна – на 2,6–5,2 %, а зменшення маси насіння з однієї рослини сягало 42,0 %. Дослідження також виявили тенденцію до меншого прояву інбредної депресії у сорту південного типу Золотоніські 15 порівняно з сортом Глухівські 58. До I_{12} маса стебла і маса волокна зменшилися приблизно на третину (–31,0 % та –36,1 % відповідно), а маса насіння – приблизно удвічі (–50,3 %). При цьому зниження насінневої продуктивності супроводжувалося збільшенням маси 1000 насінин (з 15,5 до 16,6 г або на 7,1 %). Найменш виражену інбредну депресію спостерігали за такими показниками, як загальна висота, технічна довжина стебла та вміст волокна (рис. 2).

Самозапиленими лініями сорту Глесія (середньоєвропейського еколого-географічного типу, переважно насіннєвий напрям господарського використання), як і самозапиленими лініями сорту Глухівські 58 та Золотоніські 15, властиве явище інбредної депресії. У першому поколінні від самозапилення зниження показників селекційних ознак порівняно з вихідними формами було від 0,3 % (маса стебла) до 16,9 % (маса насіння з рослини). Змін не зазнав діаметр стебла, але спостерігали певне підвищення крупності на-

сіння. Стабілізація ознак наступала дещо раніше – з I_4 окремі лінії успішно були залучені до схрещувань і давали вирівняне за основними селекційними ознаками потомство. Яскравою відмінною рисою було те, що найглибшої інбредної депресії зазнала саме ознака насінневої продуктивності (маси насіння з рослини на 65,0 % у I_{12}), незважаючи на те, що даний сорт характеризується найвищою урожайністю насіння з поміж інших. Отже, у результаті крайньої форми самозапилення однодомних конопель найвищий рівень пригнічення спостерігається за тією ознакою, рівень прояву якої найвищий у вихідного сорту: у Золотоніські 15 – це маса стебла і волокна, у сорту Глесія – це маса насіння (рис. 3).

Попри специфічні особливості реакції сучасних сортів однодомних конопель на самозапилення, явище інбредної депресії за ключовими селекційними ознаками дуже пов'язане зі зменшенням площі фотосинтетичної поверхні листків. Це проявляється у зменшенні кількості листків, їхніх розмірів (довжини та ширини пластинок), що є визначальним з тієї точки зору, що площа листової поверхні конопель сильно позитивно корелює з врожайністю стебел і волокна. Проведені дослідження однозначно підтверджують тенденцію до зменшення розмірів листків у самозапиленних ліній [9]. Самозапилення сприяє генетичній стабілізації ознак, підвищенню рівня гомозиготності та створенню генотипів з унікальними характеристиками, які не були притаманні вихідним формам. Це можуть бути як окремі біологічні чи селекційні ознаки, так і їхні комплекси. Попри відносну стабільність сучасних сортів конопель, вони потребують оновлення шляхом самозапилення окремих рослин та добору інбредних ліній без небажаних характеристик. Хоча крайні форми близькоспорідненого схрещування призводять до пригнічення розвитку рослин, у сортолінійних, лінійносортових, міжлінійних гібридних та синтетичних популяціях спостерігається істинний гетерозис, що дозволяє компенсувати низьку продуктивність, що доведено на практиці [10]. Таким способом були успішно створені й впроваджені у виробництво конкурентоздатні сорти однодомних конопель Артеміда, Гармонія, Деметра, Афіна, Вік 2020, а також низка цінних зразків генофонду рослин.

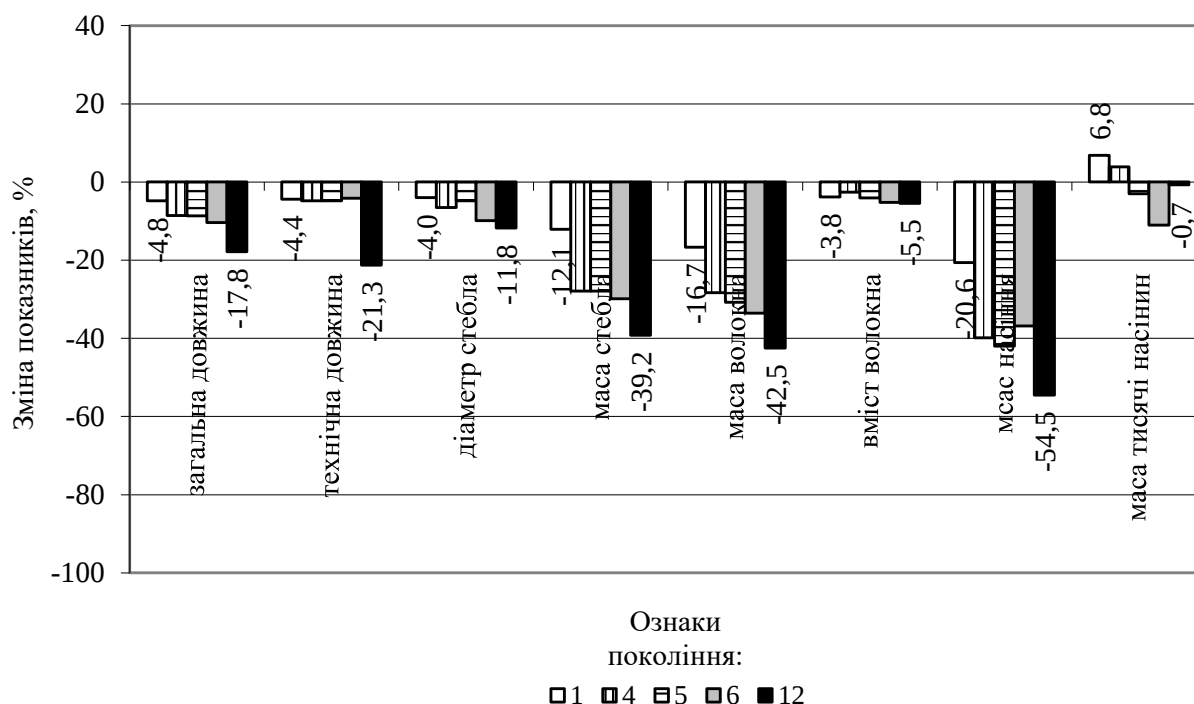


Рис. 2. Характер зміни показників цінних селекційних ознак сорту Золотоніська 15 в процесі самозапилення (2009–2020 рр.).

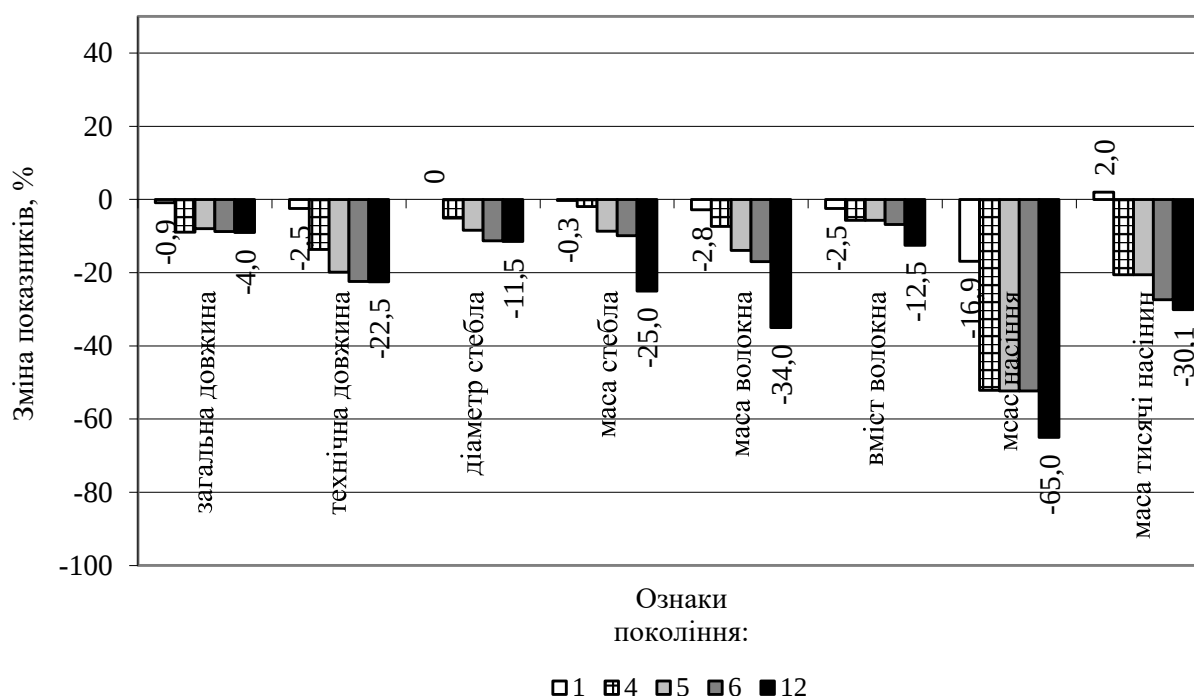


Рис. 3. Характер зміни показників цінних селекційних ознак сорту Глесія у процесі самозапилення (2012–2023 рр.).

Висновки

Для культури конопель посівних (однодомної форми) найважливішим позитивним моментом від самозапилення є істотна стабілізація селекційного матеріалу за ознакою одно-

домності, а також відсутності канабіноїдних речовин, створення інбредних ліній як компонентів гібридів і синтетичних популяцій. У процесі доборів створених за участі самозапилених ліній гібридних популяцій (яким притаманний

гетерозисний ефект), не відбувається істотного розщеплення селекційних ознак, вони зберігають свою генетичну однорідність. Гетерозисного ефекту за ознакою вмісту тетрагідроканабі-

нолу не настає (що за міжсортної гібридизації не виключається), таким чином, у популяції мають селекційний процес у промисловому коноплярстві.

References

1. Priyadarshan P. M. Recombinant inbred lines. In: Plant Breeding: Classical to Modern. Singapore : Springer, 2019. P. 257–268. https://doi.org/10.1007/978-981-13-7095-3_13.
2. Singh D. P., Singh A. K., Singh A. Inbreeding depression and heterosis. In: Singh D. P., Singh A. K., Singh A. Plant Breeding and Cultivar Development. Academic Press, 2021. P. 291–303. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817563-7.00012-X>.
3. Charlesworth D., Willis J. The genetics of inbreeding depression. *Nature Reviews Genetics*. 2009. Vol. 10. P. 783–796. <https://doi.org/10.1038/nrg2664>.
4. Han T., Wang F., Song Q., Ye W., Liu T., Wang L., Z. Chen J. An epigenetic basis of inbreeding depression in maize. *Science Advances*. 2021. Vol. 7 (35). 5442. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abg5442>.
5. Ćuk N., Cvejić S., Mladenov V., Babec B., Miklič V., Miladinović D., Jocić S. Variability of morphological traits in sunflower inbred lines. *Genetika*. 2020. Vol. 52 (3). P. 911–923. <https://doi.org/10.2298/GENSR2003911C>.
6. Marchenko T. Y., Lavrynenko Y. O., Hlushko T. V., Hozh O. A. Maize breeding for improving grain quality under conditions of sufficient moisture. *Scientific and Technical Bulletin of the Institute of Oilseeds of NAAS*. 2014. Vol. 21. P. 51–58. [in Ukrainian]
7. von Maydell D., Stache A.-M., Menuaw A. El., Gemmer M. R., Hähnel U., Junghanns W., Marthe F. On heterosis, inbreeding depression and general combining ability in annual caraway (*Carum carvi*). *Euphytica*. 2021. Vol. 217 (8). P. 163. <https://doi.org/10.1007/s10681-021-02893-x>.
8. Vozhehova R. A., Borovyk V. O., Shukaylo S. P., Sergeev L. A., Kohut I. M. Results of studying the response of cotton descendants to inbreeding. *Bulletin of Agrarian Science*. 2025. Vol. 103 (1). P. 59–64. doi: 10.31073/agrovisnyk202501-07. [in Ukrainian]
9. Mishchenko S. V., Laiko I. M. Reduction of the photosynthetic surface area of hemp leaves of different ecological and geographical types as a result of self-pollination. *Bulletin of the Center for Scientific Support of the APV of Kharkiv region*. 2012. Vol. 12. P. 143–149. [in Ukrainian]
10. Mishchenko S. V., Kyrychenko H. I., Laiko I. M. New variety of industrial hemp 'Artemida' of universal direction of economic use with high oil content and improved fiber quality. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2021. Vol. 17 (1). P. 43–50. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.17.1.2021.228208>. [in Ukrainian]

MISHCHENKO S. V.^{1, 2}, KABANETS V. M.², KYRYCHENKO H. I.², MARCHENKO T. Yu.³, MACHULSKY H. M.⁴

¹ Oleksandr Dovzhenko Hlukhiv National Pedagogical University, Ukraine, 41400, Sumska obl., Hlukhiv, Kyivska str., 24

² Institute of Bast Crops of the Natl. Acad. Agr. Sci. of Ukraine, Ukraine, 41400, Sumska obl., Hlukhiv, Tereshchenkiv str., 45

³ Institute of Climate Smart Agriculture of the Natl. Acad. Agr. Sci. of Ukraine, Ukraine, 67806, Odesa, Khlybodarske, Mayatska doroga str., 24

⁴ Taras Shevchenko National University "Chernihiv Collegium", Ukraine, 14013, Chernihiv, Hetman Polubotka str., 53

FEATURES OF THE EXPRESSION OF THE TRAITS OF MONOECIOUS HEMP IN THE INBREEDING PROCESS AND ITS USE IN BREEDING

Aim. To determine the peculiarities of the expression of biological and breeding traits, the level of inbreeding depression in the process of self-pollination of monoecious hemp plants of different ecological and geographical types and directions of economic use. **Methods.** Breeding (self-pollination, selection, hybridization), field and laboratory research methods, elements of mathematical statistics were used. The object of research is self-pollinated lines I₁–I₁₂ of varieties Ylukhivski 58, Hlesia and Zolotoniski 15. **Results.** As a result of self-pollination of monoecious industrial hemp, inbreeding depression, stabilization of breeding traits and differentiation of lines by certain properties were observed, and in some high combinational ability (with I₄–I₆ it is already advisable to involve them in crosses). **Conclusions.** The main positive effect of self-pollination is the stabilization of the material on the basis of high productivity, monoeciousness and absence of cannabinoids, which occurs in the process of close reproduction, creation of inbred lines as components of hybrids and synthetic populations. In the process of selections in hybrid populations, there is no significant splitting of breeding traits, they retain their homogeneity. Thus, the breeding process is accelerated.

Keywords: hemp, self-pollinated lines, inbred depression, productivity, selection.