

DOI: 10.48096/monograph.2024.34-63

СЕЛЕКЦІЙНО-ГЕНЕТИЧНІ ІННОВАЦІЇ У КОНОПЛЯРСТВІ ТА ЇХ МЕТОДОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ: НАПРЯМИ, ДОСЯГНЕННЯ, ПЕРСПЕКТИВИ

Сергій Міщенко

доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник
ORCID: 0000-0002-1979-4002

Ірина Лайко

доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник
ORCID: 0000-0002-9462-9509

Напрями селекційно-генетичних інновацій у коноплярстві

Не зважаючи на весь свій масштабний потенціал, сучасний український агропромисловий комплекс зможе ефективно розвиватися лише за умов активного інноваційного розвитку підприємств, що його формують. Для ефективного інноваційно-інвестиційного існування агропромислового сектору України не обхідним є впровадження такої моделі інноваційного розвитку, яка б забезпечувала баланс між модернізацію виробництва і впровадженням результатів наукових розробок, нових продуктів і технологій виробництва. Для підвищення рівня інноваційної діяльності та інвестиційної привабливості вітчизняних агропромислових підприємств запропоновано модель модернізації підприємств на засадах інноваційного провайдингу [1].

Сфері аграрної науки у моделі інноваційного провайдингу належить важливе місце, адже вона є генератором наукових ідей та інноваційних розробок. Разом з тим, у сфері підприємницького середовища агропромислового комплексу, згідно з запропонованою моделлю, існує три напрями впровадження інновацій:

- селекційно-генетичні;
- екологічні та виробничо-технологічні;
- організаційно-управлінські [1].

Основними напрямками селекційно-генетичних інновацій за сучасних умов у аграрному секторі є наступні:

- нові сорти культур з високою потенційною продуктивністю;
- відновлювана та екологічно безпечна біопродукція;
- нові сорти і гібриди культур з покращеними якісними параметрами;
- адаптаційні культури (створення сортів, що більш пристосовані до несприятливих погодних умов) тощо [1].

Зазначені напрями інновацій характерні й для селекції промислових конопель (*Cannabis sativa* L.). Процес створення нових сортів з високою потенційною продуктивністю, кращими якісними показниками продукції, стійкістю до абіо- та біотичних чинників носить перманентний характер, оскільки всім сортам властива генетично обумовлена здатність до виродження (наприклад, через накопичення у генофонді популяції негативних мутацій, кліматичні флуктуації тощо). Потреба у нових сортах конопель посівних викликана і змінними потребами виробництва та ринку коноплепродукції. Традиційно коноплі – це волокниста культура універсального використання (для отримання стебел, волокна чи насіння), але останнім часом вона стає затребуваною як харчова й олійна, біоенергетична й лікарська рослина. Спостерігається спеціалізація у створенні і впровадженні сортів за напрямами господарського використання, що сприяє створенню сировинної бази для ефективної організації різновекторних виробництв, зокрема, біоенергетичних і текстильних виробів, продуктів збалансованого харчування, гігієнічних та косметичних засобів, ліків тощо. Водночас виникає необхідність розробки нової методології селекції конопель, яка б прискорювала процес формотворення нових генотипів.

У результаті вирощування даної культури (хоча б як нішевої) отримують відновлювальну екологічно-безпечну біопродукцію (ще один напрям селекційно-генетичних інновацій). Саме в умовах раціонального природокористування культивування промислових конопель потенційно сприятиме розвитку сільських територій на засадах екологічності, енергонезалежності й енергоефективності. Актуальність, соціальна та економічна значимість створення і впровадження у сільськогосподарське виробництво конкурентоздатних сортів конопель також визначається задекларованими цілями сталого розвитку України [2], зокрема в частині досягнення продовольчої безпеки, поліпшення харчування і сприяння розвитку сільського господарства та інновацій, забезпечення здорового способу життя, доступу до недорогих, надійних, стійких і сучасних джерел енергії, забезпечення екологічної стійкості населених пунктів, забезпечення переходу до раціональних моделей споживання і виробництва, вжиття невідкладних заходів щодо боротьби зі зміною клімату та її наслідками, захисту та відновлення екосистем і сприяння їх раціональному використанню, припинення і повернення назад процесу деградації земель [2] тощо.

У зв'язку з глобальною енергетичною кризою, потребою у збереженні частки лісів у структурі екологічно стабільних територій і оптимізації відношення екологічно нестабільних земель до площ стабільних сільськогосподарських угідь перспективним став напрям використання біомаси конопель як енергетичної сировини,

оскільки за теплотворною здатністю стебла конопель (3760) дещо поступається кам'яному вугіллю (4800), але перевищують аналогічний показник для м'яких порід дерев (2700) і торфу (2030 ккал/кг) [3]. Використання стебел конопель на енергетичні цілі є перспективним напрямом ще й тому, що існує можливість використовувати на паливо як усе стебло (але це є менш рентабельним), так і його окремі складові [3], наприклад, кострицю, яка утворюється в процесі переробки, чи рослинні рештки, що залишаються після збирання насінневих посівів (це є більш економічно вигідно). Останнім часом у світі дискутується питання про заміну целюлози, одержаної з деревини лісових порід, на конопляну, адже 1 га лісу в Україні дає річний приріст деревини в залежності від породи та погодних умов 2,0–2,4 т, тоді як окремі сорти конопель мають урожайність сухих стебел вище 14 т [3].

Коноплі здатні накопичувати загальну біомасу до 20 т і більше, яка може бути використаною для виробництва енергії у таких напрямках:

- спалювання для обігрівання приміщень чи вироблення електричної енергії;
- виробництво з біомаси синтетичного газу, що має вміст енергії біля 40% від дизельного пального і може бути використаним для вироблення тепла або електричної енергії;
- отримання з олії конопель дизельного пального;
- виробництво гідролізного (ферментного) спирту з целюлози;
- отримання біогазу (під час анаеробних процесів виділяється метан, який використовують для вироблення тепла і електроенергії) та збагаченого Нітрогеном органічного добрива [3].

Коноплі є конкурентоздатними, порівняно з іншими біоенергетичними культурами, наприклад кукурудзою і цукровими буряками саме при виробництві біогазу і багаторічними рослинами при виробництві твердого біопалива, оскільки дають високі урожаї біомаси і добрий питомий вихід метану з потенціалом збільшення за умови попередньої обробки сировини [4–8]. Найбільше метану з гектара посіву можна отримати при збиранні конопель восени, коли найбільший урожай біомаси. Виробництво біогазу з конопель більш витратне, але в результаті можна отримати більш якісне паливо [8]. Вихід енергії з одиниці площі конопель при використанні на тверде біопаливо також найбільший восени, але біомаса даної культури демонструє відмінності у властивостях палива (теплотворна здатність, теплота згорання, зольність тощо) залежно від сезону: ліпшими вони є при збиранні взимку і весною. Наприклад, теплота згорання біомаси конопель, зібраної у

НАУКОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОЗВИТКУ КОНОПЛЯРСТВА У XXI СТОЛІТТІ

серпні – грудні складала 18,4, а у січні – квітні – 19,1 МДж · кг⁻¹ [8–11], перевищуючи аналогічні показники топінамбура (16,5) і незначним чином поступаючись міскантусу (19,8 МДж · кг⁻¹) [12].

Можна виділити наступні агроекологічні переваги культивування конопель на енергетичні цілі в умовах раціонального природокористування:

- коноплі – добрий попередник для інших культур у сівозмінах, вони здатні зменшувати забур'яненість полів, а відтак – хімічне навантаження на довкілля;
- мають високу ґрунтозахисну здатність від водної ерозії;
- біоремедіаційна культура (придатні для вирощування на забруднених землях важкими металами і радіонуклідами);
- культура безвідходного виробництва, бо виключно усі частини рослин придатні для переробки і виготовлення широкого асортименту продукції (рис. 1).

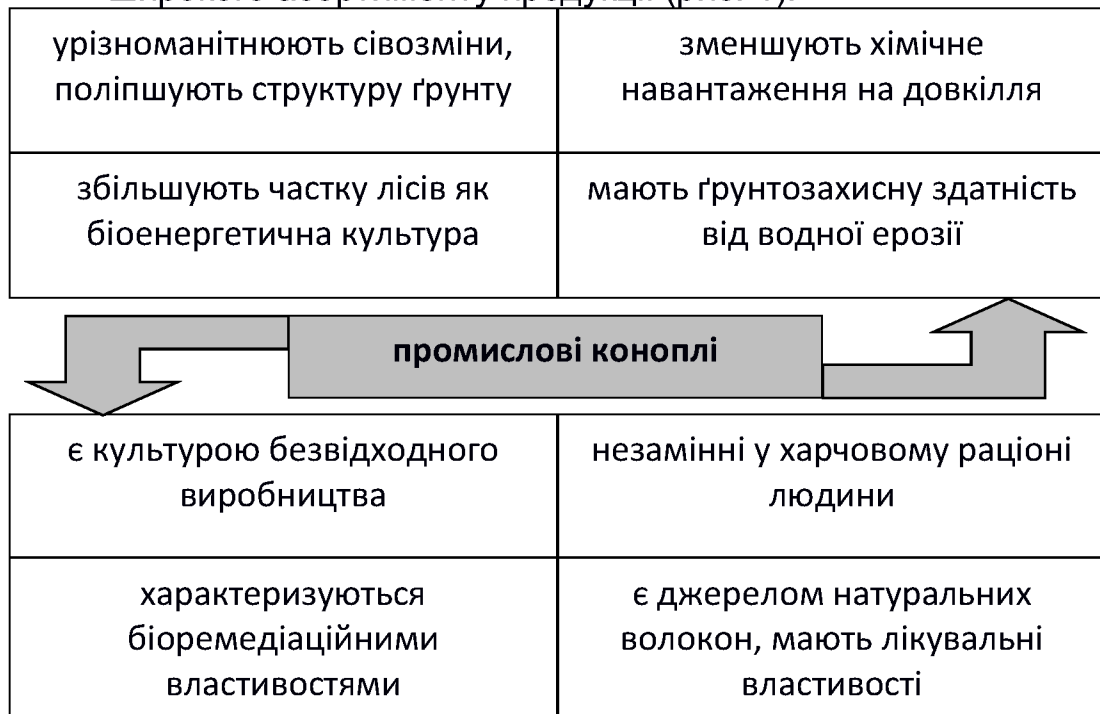


Рис. 1 – Позитивні аспекти культивування конопель в умовах раціонального природокористування

У конопель відсутня несумісність з іншими сільськогосподарськими культурами, майже немає спільних шкідників та хвороб, тому вони можуть входити до будь-яких сівозмін і значно урізноманітнювати їх. Крім того, вони є добрим попередником для багатьох культур в ланках сівозмін, оскільки поліпшують структуру ґрунту, не знижують вміст гумусу, і значно зменшують забур'яненість полів – під пологом густого стеблостою до кінця вегетаційного періоду бур'яни гинуть, а відтак – сприяють зменшенню хімічного навантаження на довкілля, тому що в наступній ланці сівозміни часто відпадає потреба у застосуванні засобів захисту від бур'янів, шкідників чи хвороб. Коноплі потребують внесення

порівняно високих доз добрив (відповідно на сірих лісових і темно-сірих опідзолених ґрунтах вносять $N_{90-120} P_{60-90} K_{60-90}$, на чорноземах – $N_{45-60} P_{45-60} K_{45-60}$), але їх післядія добре помітна на наступний рік.

Практичні заходи щодо захисту ґрунтів від ерозії полягають у зменшенні або ж повному припиненні поверхневого стоку збільшенням водопроникності ґрунтів, створенням штучного мікрорельєфу, поліпшенням структурного стану, безпечним відведенням стікаючих вод, зменшенням концентрації водних потоків та їхньої швидкості, захистом поверхні ґрунтів від руйнівної енергії крапель дощу [13]. Коноплі мають ґрунтозахисну здатність 50, 46 і 41% за крутизни схилу 3, 6 і 9° відповідно, яка знаходиться приблизно на одному рівні зі стернею озимих культур, ячменем, просом і вівсом, поступаючись лише багаторічним травам і озимим зерновим [13], тобто включення конопель у сівозміни досить позитивно сприяє охороні ґрунтів і від водної ерозії.

Відновлення техногенно забруднених важкими металами ґрунтів за використання біологічних методів (біоремедіації) є перспективним напрямом в науці та виробництві, що динамічно розвивається [14]. Активно досліджуються фітомеліоративні властивості рослин конопель – їх здатність до накопичення важких металів [15, 16]. При розробці заходів відновлення забруднених радіонуклідами і/або важкими металами ґрунтів актуальною постає проблема вибору серед великого біорізноманіття виду дикорослих чи культурних рослин, які можна запропонувати для вирощування на таких площах (насамперед вони повинні в процесі росту і розвитку мати низький рівень накопичення радіонуклідів). Саме коноплі є одним з небагатьох видів рослин, що здатні рекультивувати забруднені та виведені з обороту землі і таким чином поліпшувати екологічний стан довкілля, зокрема встановлено, що саме коноплі досить толерантні до токсичності Cd і придатні для вирощування на Cd-забрудненому ґрунті [17], інших важких металів (As, Pb, Ni, Hg) [18], внаслідок чого можуть бути використані як потенційна культура для очищення від них ґрунту [19].

Також обґрунтовано доцільність вирощування конопель на радіоактивно забруднених ґрунтах як один з методів відновлення цих територій і з точки зору можливостей їх раціонального сільськогосподарського використання [20, 21]. Встановлено, що коефіцієнт накопичення ^{137}Cs в рослинах зменшується зі збільшенням вмісту радіонуклідів у ґрунті, причому протягом всього вегетаційного періоду. Винесення радіоактивного забруднення при вирощуванні даної культури незначне – коефіцієнт виносу K становив 0,0430–0,2477%. Відносний розподіл ^{137}Cs (вміст від загального) у рослинах конопель наступний: у листках і суцвітті –

32,7–54,2, коренях – 16,2–38,6, стеблах, які, власне, і мають технічне значення, – 26,3–35,4% (у середньому близько 30%). Після переробки стебел забруднення приблизно порівну розподіляється між волокном і кострицею. Незначні рівні забруднення рослин конопель обумовлюють невеликі рівні радіо активного забруднення у повітрі та на поверхні машин в процесі збирання урожаю [20], що є дуже важливим.

Порівняно з насінням і зеленою масою сої й амаранту, виявлено найнижчі показники питомої активності ^{137}Cs саме у волокні конопель – 155 Бк/кг сорту ЮСО 11 і 107 Бк/кг сорту ЮСО 31, це свідчить про можливість вирощування цієї культури на радіоактивно забруднених територіях і використання в технічних цілях. Результати проведених досліджень свідчать, що внаслідок внесення неорганічних добрив підвищується урожайність конопель, а питома активність ^{137}Cs зменшується [21].

Коефіцієнт накопичення радіонуклідів у рослинах обернено пропорційний величині повної біомаси рослин, тобто на радіоактивно забруднених територіях з метою їх реабілітації доцільно вирощувати культури із малим співвідношенням біомаси кореневої системи до повної біомаси рослин [20]. До таких рослин і належать коноплі, у яких маса кореневої системи відносно маси надземної частини у період стиглості жіночих рослин складає для північного еколого-географічного типу 8,0, середньо європейського – 9,7 і південного – 11,5–13,2% [22].

Інша селекційно-генетична інновація – це розробка технології вирощування сільськогосподарських культур в умовах органічного землеробства. Для конопель даний напрям є відносно новим, але вже поряд з технологіями культивування [23] розробляються прийоми селекції, спрямовані на створення сортів, більшою мірою придатних до органічного землеробства [24].

Невпинно підвищується інтерес до переорієнтації промислових конопель як культури медичного напрямку використання, оскільки непсихотропні канабіноїди мають низку лікувальних властивостей проти тяжких хвороб чи подолання їх симптомів. Сорти такого типу повинні мати високий уміст канабідіолу, канабігеролу, канабіхромену чи інших непсихотропних канабіноїдів, і одночасно не містити (чи містити не вище 0,08%) тетрагідроканабінолу. Відповідно з цим у вітчизняній науці уточнюються методи селекції [25–27].

Таким чином, у сучасній селекції промислових конопель можна виділити наступні напрями:

- волокнистий;
- енергетичний;
- насінневий;
- медичний;
- універсальний.

Новітня методологія селекції промислових однодомних конопель

У світовій селекційній практиці сформувались наступні мета й основні завдання сучасної селекції конопель: підвищення урожайності волокна і його якості, стебел, насіння, контроль за ознаками однодомності і вмістом канабіноїдних сполук, стабілізація тривалості вегетаційного періоду і створення стійкого до шкідників і хвороб вихідного матеріалу. Основними класичними методами селекції даної культури є масовий та індивідуальний добір, кросбридинг, інбридинг і гібридизація, штучно індукований мутагенез. Додатково розробляються біотехнологічні методи селекції і молекулярні технології, зокрема використання генетичних маркерів для маркування селекційних ознак і добору, однак розробка останніх ще розвивається і знаходиться на початкових етапах впровадження. Зважаючи на окреслені напрями селекційно-генетичних інновацій та виділені напрями селекції, перед вченими постає важливе завдання розширення сортової різноманітності культури конопель, оптимізуючи та прискорюючи при цьому селекційний процес. За останнє десятиріччя розроблено методологію використання самозапиленних ліній та гібридизації в селекції однодомних конопель [28].

Обґрунтована наступна теоретична модель самозапиленої лінії як компонента схрещувань:

- повна відсутність канабіноїдних сполук у родоводі сім'ї, що стабільно проявляється протягом декількох інбредних поколінь, тобто відсутність мутаційного тиску за цією ознакою;
- відсутність у статевій структурі плосконі однодомних конопель, перезапилення з яким веде до дводомності;
- статева структура, яка майже на 100% складається з однодомної фемінізованої матірки – основного статевого типу сучасних конопель, частка чоловічих квіток у суцвітті якого не перевищує 30%;
- висока продуктивність за однією чи комплексом ознак;
- низький ступінь прояву інбредної депресії;
- добра комбінаційна здатність [28].

У результаті багаторічних досліджень доведено ефективність створення сортолінійних, лінійносортових і міжлінійних гібридів конопель, компонентами яких були самозапилені лінії сортів Глухівські 58, Глесія і Золотоніські 15, з наявністю гетерозисного ефекту при одночасній відсутності канабіноїдів і стабільній однодомності для урізноманітнення вихідного матеріалу, розширення його генетичної основи та прискорення селекційного процесу [28–33].

Гіпотетичний та істинний гетерозис у досліджуваних лінійно-сортових, сортолінійних і міжлінійних гібридів за ознаками

загальної довжини відповідно становив до 23,7 і 17,4, технічної довжини – 27,0 і 25,8, діаметру стебла – 57,5 і 51,5, маси стебла – 140,8 і 114,9, маси волокна – 159,6 і 146,7, вмісту волокна – 15,1 і 10,5, маси насіння – 220,3 і 155,4, маси 1000 насінин – 18,9 і 17,3%. Основні селекційні ознаки у переважній більшості гібридів успадковувались за типом наддомінування (табл. 1) [28].

Таблиця 1
Коефіцієнти домінування (h_p) селекційних ознак у сортолінійних, лінійносортових і міжлінійних гібридів F₁, (середнє, 2013–2015 рр.) [28]

Гібриди	Ознаки							
	загальна довжина, см	технічна довжина, см	діаметр стебла, мм	маса стебла, г	маса волокна, г	вміст волокна, %	маса насіння, г	маса 1000 насінин, г
Глесія / I ₅ –I ₆ Глухів. 58	-3,51	0,38	-3,95	-1,36	-0,30	2,90	-0,64	-6,00
I ₅ –I ₆ Глухів. 58 / Глесія	2,36	0,12	32,03	5,75	5,94	-2,63	-0,64	0,94
Глухів. 58 / I ₃ –I ₄ Глесія	0,60	1,53	-0,55	-0,36	-0,28	1,20	-0,73	-0,67
I ₃ –I ₄ Глесія / Глухів. 58	1,61	10,50	0,54	1,64	0,82	1,42	-0,38	-2,18
I ₃ –I ₆ Глухів. 58 / I ₃ –I ₄ Глесія	2,57	9,74	7,77	2,45	7,71	1,18	-0,35	2,22
I ₃ –I ₄ Глесія / I ₃ –I ₆ Глухів. 58	9,67	4,76	7,51	3,42	9,22	1,56	2,14	4,39
Глесія / I ₅ –I ₆ Золот. 15	1,98	1,60	0,30	0,50	0,71	3,16	0,12	-1,26
I ₅ –I ₆ Золот. 15 / Глесія	0,26	1,22	1,37	0,70	4,18	4,34	-1,06	3,25
Золот. 15 / I ₃ –I ₄ Глесія	12,52	3,30	4,12	2,00	2,55	2,50	3,60	4,54
I ₃ –I ₄ Глесія / Золот. 15	17,90	2,94	2,98	9,98	4,47	0,34	4,36	-1,75
I ₃ –I ₆ Золот. 15 / I ₃ –I ₄ Глесія	3,11	0,32	3,03	2,09	2,77	16,85	2,69	-0,11
I ₃ –I ₄ Глесія / I ₃ –I ₆ Золот. 15	0,44	0,39	1,41	2,33	5,15	-2,04	2,50	1,43

Примітка. Глухів. – Глухівські; Золот. – Золотоніські.

Результативність селекційних доборів у гібридних поколіннях залежала від ступеня індивідуальної мінливості кількісних ознак конкретної сім'ї гібриду, наприклад встановлено, що міжлінійний гібрид I₃ Глесія / I₃–I₅ Золотоніські 15 менш продуктивний, але ліпше піддавався індивідуальному добору, а гібрид I₃–I₅ Золотоніські 15 / I₃ Глесія більш продуктивний, але меншою мірою піддавався добору, незначним чином знижував показники ознак волокнистості і характеризувався від'ємним ексцесом, що свідчить про розщеплення кількісних ознак у потомстві. Загалом створення цінного вихідного селекційного матеріалу за однією чи комплексом

ознак і різних напрямів використання (волокнистого, біоенергетичного, насінневого тощо) можливе з використанням в межах одного еколого-географічного типу або різних трьох типів простих гібридів: сортолінійних, лінійносортових і міжлінійних. Серед схрещувань в межах середньоєвропейського еколого-географічного типу найбільшу цінність мали міжлінійні гібриди, а в межах середньоєвропейського і південного – сортолінійні і лінійносортові. Зважаючи на встановлені особливості успадкування вмісту канабіноїдів та статі, при гібридизації віддалених генотипів доцільно використовувати сорт середньоєвропейського еколого-географічного типу, а самозапилену лінію – південного типу [28].

При цьому явища гетерозису за вмістом канабіноїдів у досліджуваних гібридів не встановлено. Кількість рослин у потомстві створених сортолінійних, лінійносортових та міжлінійних гібридів F_1 з відсутністю канабідіолу становило у середньому за три роки 93,3–100,0, з відсутністю тетрагідроканабінолу – 98,8–100,0 і з відсутністю канабінолу – 95,0–100,0%, що вказує на дуже високу однорідність отриманого гібридного матеріалу. Ознаки статі у досліджуваних гібридів зміщувалися у бік жіночої. Селекційна цінність різних типів гібридів конопель з точки зору збільшення частки однодомної фемінізованої матірki у співвідношенні статевих типів зростала у послідовності: сортолінійні, лінійносортові, міжлінійні. Статєва структура була кращою у гібридів, створених шляхом оптимального добору форм для схрещування віддалених середньоєвропейського і південного еколого-географічних типів [28]. Проведення селекційного добору з метою закріплення і стабілізації бажаного рівня прояву ознак у потомстві гібридів (до F_3) є обов'язковим заходом, що передє кінцевому результату – створенню сорту.

При доборі батьківських пар для отримання продуктивних гібридів необхідно не лише передбачити можливість прояву гетерозису, але і забезпечити бажане успадкування гібридом важливих господарських ознак і властивостей. Головна вимога для батьківських форм – це їх висока комбінаційна здатність [34]. Комбінаційна цінність будь-якої батьківської форми може бути виражена двома способами: середньою величиною гетерозису за всіма гібридними комбінаціями і значенням цієї величини у тому чи іншому конкретному схрещуванні. Перша характеризує загальну комбінаційну здатність (ЗКЗ) даної батьківської форми, а друга – специфічну комбінаційну здатність (СКЗ) [34]. Комбінаційна селекція у процесі створення вітчизняних сортів конопель не проводилася, оскільки вона включає трудомісткий процес гібридизації великої кількості рослин, проведення складної статистичної обробки даних тощо. Нами вперше було доведено можливість і ефективність комбінаційної селекції виключно у

однодомних форм конопель середньоєвропейського еколого-географічного типу [28, 35]. Раніше комбінаційна здатність була встановлена і покладена в основу створення сортів південного типу шляхом гібридизації дводомних конопель (материнська форма) з однодомними (батьківська форма) [36], що значно спрощує одержання великої кількості гібридних варіантів.

Дослідження різних самозапилених ліній і сімей сортів конопель Глухівські 58, Глесія та Золотоніські 15 за параметрами комбінаційної здатності у системі повних топкросів (тестери – сорти Гляна та Глухівські 51) показало значну їх диференціацію за ефектами ЗКЗ і варіансами СКЗ. Адитивні ефекти генів переважали за ознаками технічної довжини, маси стебла і вмісту волокна (це свідчить про доцільність проведення доборів за фенотипом), а неадитивні – за масою насіння з рослини і тисячі насінин (це свідчить про необхідність доборів за генотипом). Неадитивні ефекти генів здебільшого виявлені у міжсорткових схрещуваннях та у варіантах із залученням сорту Глесія та його самозапилених ліній, у свою чергу адитивні ефекти у значній мірі властиві гібридним комбінаціям з участю самозапилених ліній I₆ Глухівські 58 й I₆ Золотоніські 15. Для комбінаційної селекції на підвищення продуктивності доцільно використовувати саме лінійносортові схрещування середньоєвропейського і південного типів (табл. 2) [28, 35].

Таблиця 2

Переважання адитивних або неадитивних ефектів генів, встановлене шляхом порівняння варіанс ЗКЗ (g_i) з варіансами СКЗ (σ_i^2) (середнє, 2015–2016 рр.) [28, 35]

Сорт, лінія	Ознаки							
	загальна довжина	технічна довжина	діаметр стебла	маса стебла	маса волокна	вміст волокна	маса насіння	маса 1000 насінин
I ₆ Глухівські 58 Л1	а	а	а	а	а	а	а	а
I ₆ Глухівські 58 Л2	а	а	а	а	а	а	а	а
I ₄ Глесія Л1	а	а	н	а	а	а	а	н
I ₄ Глесія Л2	н	а	н	а	а	а	н	а
I ₆ Золотоніські 15 Л1	а	а	а	а	а	а	а	а
I ₆ Золотоніські 15 Л2	а	а	а	а	а	а	а	н
Глухівські 58 Л1	а	а	а	а	а	а	н	а
Глухівські 58 Л2	н	а	а	а	а	а	н	н
Глесія Л1	а	а	н	а	н	а	н	н
Глесія Л2	а	а	н	а	н	н	а	а
Золотоніські 15 Л1	а	а	а	а	а	а	а	н
Золотоніські 15 Л2	н	а	а	а	н	а	н	а

Примітка. ЗКЗ – загальна комбінаційна здатність; СКЗ – специфічна комбінаційна здатність; Л – лінії; а – адитивні ефекти генів; н – неадитивні ефекти генів.

Ученими висунута гіпотеза про те, що формотворчі процеси в селекції починаються з кросбридингу (простого або складного), як джерела високої гетерозиготності, з переходом на інбридинг (жорсткий, помірний або м'який), як засобу підвищення гомеостатичності вихідного матеріалу, і завершується третім видом формотворення – конвергенцією (вертикальною, горизонтальною і змішаною), бо проводять складні схрещування різного ступеня спорідненості [37]. Ми вважаємо, що в селекції рослин після кросбридингу фактично відбуваються два явища – дивергенція («розходження» ознак при інбридингу, внаслідок чого утворюється багато досить відмінного селекційного матеріалу від вихідних форм) і конвергенція («сходження» ознак внаслідок гібридизації різного ступеня спорідненості) [28]. Конвергенція різних напрямів є джерелом позитивних і негативних трансгресій за найважливішими ознаками, які цікавлять селекціонера, і рушійним фактором експериментальної еволюції організмів (культурних рослин) [37].

Вертикальна конвергенція:

- 1) сходження різних поколінь бекросів (помірний інбридинг) при внутрішньосімейному схрещуванні, де за батьківську беруть форми з ранніх, більш гетерозиготних поколінь, а за материнську – форми з більш пізніх гомозиготних поколінь;
- 2) сходження різних інбредних поколінь з однієї сім'ї (м'який інбридинг → помірний інбридинг), добір і пересіви в поколіннях та об'єднання кращих доборів в єдину субпопуляцію [37].

Горизонтальна конвергенція:

- 1) сходження простих гібридів одного покоління, споріднених за однією з батьківських форм, – напівсибсів;
- 2) сходження бекросів одного покоління від різних батьківських пар, споріднених за рекурентним сортом [37].

Експериментально встановлено, що в селекції конопель доцільним є використання схрещувань у напрямках вертикальної і горизонтальної конвергенції, особливо для отримання вихідного матеріалу з високими показниками біомаси рослин, волокнистості і насінневої продуктивності, зокрема:

- першого і третього поколінь простих лінійносортових гібридів різних еколого-географічних типів, споріднених з однією з батьківських форм (F_1 // F_3);
- схрещування простих міжлінійних гібридів різних еколого-географічних типів з інбредною лінією середньо європейського типу більш пізнього покоління від самозапилення (міжлінійний гібрид // самозапилена лінія);
- реципрокні схрещування простих міжлінійних гібридів різних еколого-географічних типів з вихідним сортом самозапиленої лінії середньоєвропейського типу (міжлінійний гібрид // сорт і сорт // міжлінійний гібрид);

- схрещування простих лінійносортових і міжсортових гібридів першого покоління, споріднених за однією з батьківських форм [28, 38, 39].

Подана методологія селекції промислових конопель одностомної форми на основі самозапилених ліній прогнозовано забезпечує створення стабільного матеріалу (сорту) за більш короткий проміжок часу, порівняно з використанням міжсортових схрещувань за типом двостомні коноплі / одностомні й одностомні коноплі / одностомні, строкатість потомства яких за переважною більшістю цінних господарських і біологічних ознак вимагає проведення багаторазових поліпшуючих чи стабілізуючих доборів.

Окремі методичні прийоми і способи інтенсифікації селекційного процесу промислових конопель

Також розроблено низку допоміжних методичних прийомів і способів, які сприяють інтенсифікації селекційного процесу, доповнюючи описану вище методологію.

По-перше, при проведенні гібридизації зразків, представлених одностомною фемінізованою матіркою з малою часткою чоловічих квіток у суцвітті і середньоєвропейським еколого-географічним типом, крім ручної кастрації чоловічих квіток, запропоновано використання в ролі гаметоциду дибутилфталату у концентрації 2,0 або 1,0% за умови двохразової обробки у фазу 5 пар листків і початку цвітіння (видалення чоловічофертильних рослин протягом усього періоду цвітіння є обов'язковим заходом) [40]. На відміну від попередніх досліджень і рекомендацій [41] доведено, що майже для 100,0% хімічної кастрації чоловічих квіток достатньо використовувати одноразову обробку конопель 0,3–0,6% розчином етефону (етрелу), тобто зі зниженою концентрацією 2-хлоретилфосфонової кислоти (1440–2880 мг/л і дозою 30 мл робочого розчину на 1 м²), у фазі від п'яти пар листків до початку бутонізації, тобто до диференціації тканин статевих органів у меристематичних зонах (при цьому коноплі формують достатню кількість гібридного насіння на одній рослині для подальшого вивчення і розмноження) [40].

По-друге з метою створення високогетерозиготного продуктивного вихідного матеріалу, прискорення селекційного процесу і уникнення трудомісткої кастрації чоловічих квіток був розроблений «Спосіб створення синтетичних популяцій конопель» [42], згідно якого для схрещування рослин самозапилених ліній в умовах штучної ізоляції у вегетаційному будинку відбирають 5 рівних кількостей насіння, що отримані від рослин 5-ти самозапилених ліній I₄–I₆, кожна з яких відповідає наступним вимогам: належить до насінневого, універсального та волокнистого напряму господарського використання; характеризується відсутністю канабі-

ноїдних сполук за результатами тонкошарової хроматографії (за умови екстрагування хлороформом, хроматографування у системі розчинників «циклогексан – хлороформ» (20 : 15) і застосування барвника тривкого синього Б); характеризується бажаним рівнем прояву селекційних і біологічних ознак та меншою мірою здатна до самозапилення (тобто рослини якої в результаті самозапилення утворюють найменшу кількість насіння, а за даними розсадника оцінки за умови відсутності просторової ізоляції і вільного запилення пилом різного походження характеризуються високою насінневою продуктивністю). Потім проводять сівбу відібраного насіння під груповий тканинно-плівковий ізолятор, за результатами оцінки отриманого *syn-1* добирають потомство 1–3 кращих ліній, змішують їх насіння у рівній кількості і розмножують до *syn-3*, проводячи дворазову обробку рослин у фазу бутонізації і цвітіння водним розчином аскорбінової кислоти як антистресовим агентом у дозі 400 мг/м².

По-третє, розроблено «Спосіб селекції сортів однодомних конопель на скоростиглість» [43–45], який полягає у дотриманні визначеної площі живлення рослин у селекційному розсаднику, що зменшує вплив зовнішніх факторів на реалізацію у фенотипі ознаки тривалості вегетаційного періоду, доборі скоростиглих елітних рослин із сімей, які мали найменший вегетаційний період в умовах розсадника оцінки, і доборі насіння із найбільш ранньостиглої частини суцвіття.

По-четверте, проведено методичні розробки щодо зниження рівня психотропного тетрагідроканабінолу і підвищення вмісту непсихотропних канабіноїдів, які характеризуються лікувальними властивостями. Теоретично обґрунтована і доведена практикою значна ефективність зниження і стабілізації ознаки вмісту канабіноїдних сполук у послідовності «окрема рослина → селекційна сім'я → популяція сорту» (а не у зворотному напрямі як при стабілізації ознаки однодомності) [45], досліджено особливості динаміки накопичення канабіноїдних сполук у промислових сортів конопель [45] та сімей з підвищеним умістом канабідіолу [46], у результаті чого встановлено, що оптимальним періодом для збирання біомаси конопель медичного напрямку використання з подальшим виділенням з неї канабідіолу та відбору зразків для аналізу вмісту канабіноїдних сполук є період від повного цвітіння до фази біологічної стиглості.

При цьому визначено, що якісну, напівкількісну і кількісну оцінку канабіноїдів за діаметрально протилежних напрямів селекції – першого на зниження до повної елімінації цих речовин і другого на підвищення вмісту непсихотропних канабіноїдів при одночасному зниженні тетрагідроканабінолу – доцільно використовувати на різних етапах селекційного процесу (рис. 2) [28].



Рис. 2 – Порівняльна характеристика методів ідентифікації канабіноїдних сполук за метою використання при різних напрямках селекції [28]

У процесі створення сортів конопель з відсутністю усіх компонентів канабіноїдних сполук на початкових етапах селекції використовують тонкошарову хроматографію, яка дає змогу зробити напівкількісну оцінку (в балах) селекційного матеріалу загалом і окремих рослин, порівняти їх між собою за принципом «більше» чи «менше» та здійснити добір генотипів з бажаним, тобто меншим проявом канабіноїдних сполук, особливо тетрагідроканабінолу (до повної відсутності). На завершальних етапах селекції, коли вміст канабіноїдів знизиться до повної або майже повної відсутності, селекційний матеріал аналізується експрес-методом (якісна оцінка), який дозволяє у польових умовах у фазі

бутонізації (до цвітіння) здійснити аналіз великої кількості (десятки тисяч) рослин і видалити нетипові особини з наявністю канабіноїдів, що сприяє як підвищенню ступеня неспсихотропності, так і стабілізації ознаки відсутності канабіноїдних речовин на більш високому рівні. Кількісна оцінка методом газорідинної хроматографії потрібна на завершальних етапах селекції лише для контролю за вмістом тетрагідроканабінолу, щоб він не перевищував дозволеної законодавством норми, яка на даний час становить 0,08% [28].

У процесі створення сортів медичного напрямку використання з підвищеним вмістом неспсихотропних канабіноїдів експрес-метод використовують виключно на початкових етапах селекційного процесу з метою виявлення рослин з позитивною реакцією на канабіноїди. У подальшому серед відібраних за результатами експрес-методу рослин залишають лише ті, які за даними тонкошарової хроматографії містять потрібні неспсихотропні канабіноїди за принципом «більше» і тетрагідроканабінол за принципом «менше» аж до повної відсутності. Таким способом проводять 1–3 добори, а у подальшому використовують кількісну оцінку методом газорідинної хроматографії. Не зважаючи на витратність її проведення і можливості аналізу порівняно обмеженої кількості зразків, на сьогодні це єдиний метод, який є найбільш ефективним для добору генотипів з підвищеним вмістом неспсихотропних канабіноїдів і зниженим вмістом тетрагідроканабінолу [28].

У зв'язку з розвитком нового напрямку селекції конопель – медичного – удосконалено «Спосіб оцінки рослин конопель на наявність канабіноїдних сполук» [47]. Він включає проведення якісної реакції зі спиртовим розчином барвника тривкого синього Б і оцінку рослин конопель на наявність канабіноїдів за зміною інтенсивності забарвлення в зоні дифузії екстракту, при цьому використовують 5 мл 0,04% розчину барвника тривкого синього Б в етанолі (чітко визначеної концентрації), для приготування якого наважки заздалегідь готують в лабораторії з використанням аналітичних ваг, і порівняння з попередньо нанесеними екстрактами етанолу-свідка із заданим вмістом канабіноїдних сполук на пластини з фільтрувального паперу без просочування натрій карбонатом.

Промислові коноплі в культурі *in vitro*

Розвиток біотехнологій є важливим фактором еколого-економічного розвитку суспільства, який обумовлений вирішенням значної кількості економічних проблем, забезпеченням сталого розвитку природи і гарантуванням продовольчої та енергетичної безпеки. Біотехнологія у сільському господарстві доповнює традиційні методи селекції рослин та розробляє нові технології, що

дозволяють підвищити ефективність виробництва загалом. При цьому клітинна і тканинна біотехнологія базується на можливості клітин існувати і розмножуватись на живильному середовищі в умовах *in vitro*, здатності до тотипотентності і регенерації (органогенезу), спадкових змінах, які можна використати в селекції.

Можливі напрями використання культури ізольованих клітин і тканин конопель в селекції:

- відновлення колекційних зразків з насіння з низькою схожістю і життєздатністю, мікроклональне розмноження рослин (цінних генотипів) шляхом використання культури ізольованих тканин;
- оздоровлення посадкового матеріалу (добір стійких генотипів до хвороб);
- використання ізольованих клітин, що дає можливість отримувати рослини зі стійкістю до стресових чинників середовища (посухи, засолення, низьких і високих температур, важких металів тощо), створення нових генотипів на основі соматоклональної мінливості, шляхом злиття ізольованих протопластів та отримання нестатевих (соматичних) гібридів, культивування ізольованих пиляків та отримання гаплоїдів, вирощування незрілих зародків насінин тощо;
- отримання вторинних метаболітів з калюсної тканини, вирощеної на твердому (агаризованому) або рідкому (суспензійна культура) живильному середовищі;
- використання культур рослинних клітин та тканин для створення нових форм методами генетичної інженерії.

Останнім часом розроблено окремі способи і прийоми культивування промислових непсихотропних конопель середньоєвропейського еколого-географічного типу в культурі *in vitro*, зокрема:

- спосіб розмноження рослин з насіння з низькою схожістю та життєздатністю (для стерилізації насіння застосовують розчин гіпохлориту натрію у зниженій концентрації до 1,5% з експозицією 12,5 хв, насіння висаджують на живильне середовище Мурасіге і Скуга з макро- і мікроелементами у повній дозі, до складу якого входить 5,0 мг/л тіаміну, 1,0 мг/л піридоксину, 5,0 мг/л аскорбінової кислоти, 0,4 мг/л гіберелової кислоти, 4,0 мг/л бурштинової кислоти, 15,0 г/л сахарози і яке не містить нікотинової кислоти, культують за замінної температури: 3–4 доби при температурі 20–22°C і надалі при температурі 24–26°C) [48, 49];
- спосіб індукції калюсогенезу (сегменти гіпокотилля довжиною 4–8 мм зі стерильних пагонів віком 7–14 діб культують на середовищі Мурасіге і Скуга з макро- і мікроелементами у повній дозі, до складу якого входять 5,0 мг/л

тіаміну, 1,0 мг/л піридоксину, 7,5 мг/л аскорбінової кислоти, 2,0 мг/л гліцину, 100,0 мг/л мезоінозиту, 0,5 мг/л 2,4-дихлорофеноксиоцтової кислоти, 0,3 мг/л кінетину, 0,5 мг/л гіберелової кислоти, 30,0 г/л сахарози і яке не містить нікотинової кислоти) [50, 51];

- додавання до середовища аскорбінової кислоти як антиоксиданта, що поліпшує виживання та ріст експлантів [52, 53];
- модифіковане живильне середовище для культивування [53, 54].

Як засвідчила практика, подальших досліджень потребує питання мікроклонального розмноження конопель *in vitro*, індукції калюсогенезу, органогенезу і соматоклональної мінливості саме волокнистого (з відсутністю психотропних властивостей) типу, оскільки під час його здійснення виникають певні складнощі. У селекційно-генетичній роботі все більш затребуваним стає застосування біотехнологічних методів для отримання принципово нового селекційного матеріалу, однак рослини цього типу є недостатньо чутливими до культивування *in vitro* загалом та культури ізольованих клітин і тканин зокрема. Вони слабо піддаються впливу фотоперіоду і здатні до цвітіння при значному розмаху варіації тривалості світлового дня (фенологічні фази лише незначним чином подовжуються чи скорочуються), а тому швидко закінчують свій розвиток і відмирають, що унеможлиблює їх подальше використання *in vitro*, характеризуються сильним апікальним домінуванням. Зважаючи на вищевикладені аргументи, актуальною є розробка такого живильного середовища для культивування однодомних непсихотропних конопель середньоєвропейського еколого-географічного типу в умовах *in vitro*, яке б покращувало цей процес і результат за рахунок інтенсифікації росту пагонів і поліпшення їх життєздатності, сприяло подовженню тривалості вегетативної стадії розвитку і онтогенезу загалом, гальмувало настання генеративної стадії, виступало інгібітором накопичення фенольних сполук.

Експериментально було встановлено оптимальний варіант модифікації середовища Мурасіге і Скуга, до якого внесено наступні зміни складових: 2400 мг/л (30 мМ) NH_4NO_3 , 1768 мг/л (17,5 мМ) KNO_3 , 136 мг/л (1 мМ) KH_2PO_4 , 34,72 мг/л (125 мкМ) $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, комплексованого (хелатованого) EDTA-Na_2 , 12,36 мг/л (200 мкМ) H_3BO_3 , комплексованого (хелатованого) $\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$, 0,05 мг/л (0,2 мкМ) $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 0,05 мг/л (0,2 мкМ) $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 5 мг/л аскорбінової кислоти (вітамін С), 1 г/л активованого вугілля, 10–30 г/л глюкози, 8 г/л агару і вилучено нікотинову кислоту (вітамін РР) (табл. 3) [53, 54].

Таблиця 3
Концентрація компонентів живильного середовища для
культивування однокотних непсихотропних конопель
середньоєвропейського еколого-географічного
типу в умовах *in vitro* [54]

Компонент середовища	Масова концентрація, мг/л	Молярна концентрація	Масова концентрація маточного розчину, мг/л	Об'єм маточного розчину для приготування 1 л середовища, мл
Макроелементи				
NH ₄ NO ₃ *	2400	30 мМ	48000	50
KNO ₃ *	1768	17,5 мМ	35360	
CaCl ₂ · 2H ₂ O	440	3 мМ	8800	
MgSO ₄ · 7H ₂ O	370	1,5 мМ	7400	
KH ₂ PO ₄ *	136	1 мМ	2720	
FeSO ₄ · 7H ₂ O *	34,75	0,125 мМ	6950	5
EDTA-Na ₂ *	46,62	0,125 мМ	9320	
Мікроелементи				
H ₃ BO ₃ *	12,36	100 мкМ	12360	1
C ₃ H ₅ (OH) ₃ *	36,8	200 мкМ	36800	
MnSO ₄ · 4H ₂ O	22,3	100 мкМ	22300	1
ZnSO ₄ · 4H ₂ O	8,6	30 мкМ	8600	
KJ	0,83	5 мкМ	830	
Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O	0,25	1 мкМ	250	
CuSO ₄ · 5H ₂ O *	0,05	0,2 мкМ	50	
CoCl ₂ · 6H ₂ O *	0,05	0,2 мкМ	50	
Органічні складові				
Гліцин	2		2000	1
Мезо-інозит	100		20000	5
Нікотинова кислота *				
Піридоксин	0,5		500	1
Тіамін	0,1		100	1
Аскорбінова кислота *	5		5000	1
Активоване вугілля *	1000			
Глюкоза *	10000–30000			
Агар *	8000			

Примітка. * – складові, концентрацію яких було змінено (або додано), решта – за прописом Мурасіге і Скуга; фітогормони додають залежно від потреби; для мікроклонального розмноження масова концентрація глюкози становить 10000 мг/л, для індукції калюсогенезу – 30000 мг/л.

Нітроген є одним із надзвичайно важливих біогенних макроелементів для рослин, оскільки він входить до складу молекул амінокислот і відповідно білків, фітогормонів, ДНК, РНК, хлорофілу тощо [55]. Сучасні сорти промислових конопель середньоєвропейського еколого-географічного типу є досить вимогливими до забезпеченості доступними для живлення сполуками даного елементу. Наявність Нітрогену у складі середовища головним чином забезпечується присутністю йонів NH_4^+ та NO_3^- . Саме підвищена, у порівнянні із живильним середовищем Мурасіге і Скуга, концентрація NH_4NO_3 (2400 мг/л) інтенсифікує ріст експлантів та калюсів конопель досліджуваного типу, сприяє кращому розвитку вегетативних органів, водночас гальмує розвиток генеративних органів, подовжуючи тривалість їх онтогенезу *in vitro* загалом.

Фізіологічна роль Калію визначається тим, що він не є конституційним елементом і в рослинах здебільшого залишається в йонній формі, яка підтримує на оптимальному рівні фізико-хімічні властивості протопласта, активує роботу численних ферментів, сприяє синтезу АТФ, підтримці водного балансу рослин на оптимальному рівні шляхом підвищення осмотичного потенціалу клітин і здатності білків до гідратації, у підсумку підвищуючи надходження води в клітини і збільшуючи посухостійкість рослин; сприятливо діє на білковий, ліпідний і вуглеводний обмін, активізує фотосинтетичне й окисне фосфорилування тощо [55]. Потреба конопель у Калію дещо менша, порівняно з іншими культурами. Знижена, у порівнянні із живильним середовищем Мурасіге і Скуга, концентрація йонів K^+ , джерелом яких є солі KNO_3 (1768 мг/л) і KH_2PO_4 (136 мг/л), гармонізує інтенсивний ріст рослин, що спостерігається внаслідок підвищеної концентрації Нітрогену, попереджує надмірне витягування стебла і міжвузлів, викликає формування додаткових вузлів, що важливо для збільшення коефіцієнта розмноження мікроклонів. Разом з тим, через достатню кількість вуглеводу глюкози (яка за нашими даними дає кращі результати, порівняно з сахарозою), порушення водного балансу (осмотичного тиску) нівелюється.

Фосфор – це конституційний елемент рослин, що входить до складу молекул багатьох органічних сполук, зокрема вуглеводів, РНК і ДНК, білків, ферментів (НАДФ), АДФ і АТФ, тому відіграє важливу роль в енергетичному обміні, сприяє прискоренню біохімічних процесів; завдяки буферним властивостям фосфоровмісних солей підтримується на оптимальному рівні рН протопласта, прискорюється розвиток рослин і їх перехід у генеративний стан, необхідний для доброго засвоєння Нітрогену тощо [55]. Знижена, у порівнянні із живильним середовищем Мурасіге і Скуга, до 136 мг/л концентрація Фосфору у вигляді йонів ортофосфорної кислоти PO_4^{3-} (136 мг/л KH_2PO_4) у певній мірі гальмує

розвиток рослин (але не ріст), їх перехід у генеративний стан і відмирання, а також попереджає появу некротичних плям на листках за інтенсивного освітлення.

Ферум входить до складу окисно-відновних ферментів, забезпечуючи перенесення електронів або Гідрогену як відновника та синтез хлорофілу [55]. Для конопель властивий постійний ріст молодих пагонів із вузлів як при штучному видаленні апікальних меристем, так і без них. Підвищена, у порівнянні із живильним середовищем Мурасіге і Скуга, до 34,72 мг/л концентрація $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, комплексованого (хелатованого) EDTA-Na_2 , необхідна для попередження розвитку хлорозів у молодих листків конопель, які інтенсивно ростуть *in vitro*.

Бор – важливий мікроелемент для росту і розвитку рослин, він не входить до складу ферментів, але впливає на значну кількість фізіолого-біохімічних процесів, зокрема на вуглеводний обмін і транспорт вуглеводів, від нього залежить активність оксиредуктаз, шляхи окиснення вуглеводів (при його нестачі вони окислюються тільки до фенолу, який для клітин є отруйним), при дефіциті Бору в першу чергу страждають меристематичні тканини [55]. Значення Купруму насамперед визначається його участю в побудові молекул окремих окисно-відновних ферментів, він позитивно впливає на фотосинтез, синтез білка [55]. Фізіологічна роль Кобальту різнобічна: він активізує роботу багатьох ферментів, зокрема нітратредуктази, підвищує посухостійкість рослин тощо [55]. Експериментально було встановлено, що культивування конопель досліджуваного типу в умовах *in vitro* дає кращі результати при збільшеній масовій частці у середовищі таких мікроелементів, як Бор, Купрум і Кобальт, тому їх концентрацію подвоєно, а H_3BO_3 , комплексовано (хелатовано) гліцеролом – $\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$, що сприяє кращому засвоєнню Бору.

Включення до середовища 5 мг/л аскорбінової кислоти, яка є антиоксидантом, й 1 г/л активованого вугілля також попереджують утворення фенольних сполук, які спричиняють пригнічення росту і розвитку або ж ведуть до загибелі експлантів. Нікотинову кислоту виключено зі складу середовища, оскільки вона у конопель даного типу негативно впливала на ріст і розвиток пагонів, соматичний і генеративний калюсогенез і органогенез.

Вирощені на пропонованому середовищі для культивування конопель *in vitro* пагони характеризувались більш інтенсивним ростом, а відтак – вищими показниками ознак висоти, кількості міжвузлів, маси калюсу, утвореного на гіпокотильних сегментах, здатності до органогенезу, порівняно тривалим вегетаційним періодом тощо [54].

Багато проблемних питань введення промислових конопель в культуру *in vitro* залишаються ще не вирішеними і потребують розширення біотехнологічних досліджень.

Сорти промислових конопель як селекційно-генетичні інновації та складові моделі інноваційного провайдингу в аграрній та суміжних сферах

У результаті впровадження як класичних схем селекційного процесу, так і описаної новітньої методології разом з додатковими способами і прийомами за останнє десятиріччя в Інституті луб'яних культур НААН створено низку перспективних сортів промислових конопель універсального та спеціалізованого напрямів господарського використання – Вікторія, Глесія, Миколайчик, Артеміда, Гармонія, Вік 2020, Глухівські 51, Глухівські 85 (рис. 3) [56–59].



Рис. 3. – Розподіл сучасних сортів конопель за напрямками господарського використання

Сорт Вікторія (автори – Лайко І. М., Вировець В. Г., Кириченко Г. І., Щербань І. І.) – перший стабільний сорт з відсутністю канабіноїдних сполук, який одночасно поєднує урожайність на рівні сорту-стандарту. Отриманий методом добору із сорту ЮСО 31 на зниження вмісту тетрагідрокабінолу та зближення початку цвітіння чоловічих і жіночих квіток у суцвітті. Урожайність стебел – 7,9 т/га, загального волокна – 2,7 т/га (за умови вирощування на зеленець), вихід загального волокна 34,9%, урожайність насіння – 1,2 т/га (за умови вирощування на двобічне використання) [45]. З 2011 р. занесений до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні.

Сорт Глесія (автори – Лайко І. М., Вировець В. Г., Кириченко Г. І., Щербань І. І., Міщенко С. В., Мигаль М. Д.) отримано методом сімейно-групового добору із сорту конопель Глера у напрямках підвищення насіннєвої продуктивності, зближення строків початку цвітіння чоловічих і жіночих квіток, повної відсутності канабіноїдних сполук. Належить до середньостиглої групи. Тривалість вегетаційного періоду до технічної стиглості становить 87–95, до біологічної стиглості – 119–125 діб. За даними конкурсного сортовипробування при вирощуванні з метою отримання волокна (на зеленець) урожай стебел становить

7,5–9,0 т/га, волокна – 2,0–2,9 т/га (зокрема довгого 2,1–2,8 т/га), вихід волокна – 29,3–33,3% (зокрема довгого 27,0–31,4%). Сорт Глесія – чемпіон серед однодомних промислових конопель за насінневою продуктивністю. При вирощуванні з метою отримання волокна і насіння (на двобічне використання) урожай насіння становить 1,6–2,2 т/га, що на 49,1% вище за сорт-стандарт Гляна, урожай стебел – 6,5–8,5 т/га, волокна – 2,2–3,1 т/га (зокрема довгого 2,0–3,0 т/га), вихід волокна – 31,0–34,5% (зокрема довгого 29,0–32,8%). Статева структура популяції сорту Глесія складається з 91,0–98,0% рослин однодомної фемінізованої матірки, яка має компактне суцвіття (здебільшого ромбоподібне) і переважну більшість жіночих квіток. Рослини плосконі однодомних конопель (дестабілізатора однодомності) відсутні. Має середню стійкість до пошкодження шкідниками і ураження хворобами [60]. З 2016 р. занесений до Державного реєстру сортів, придатних для поширення в Україні.

Сорт Миколайчик (автори – Лайко І. М., Вировець В. Г., Кириченко Г. І., Міщенко С. В., Кмець І. Л.) отримано методом складної гібридизації (ЮСО 31 // Глера / Fasamo /// Глухівські 18) з наступним сімейно-груповим добором у напрямках скоростиглості, підвищення насінневої продуктивності, стабілізації однодомності та зниження вмісту канабіноїдних сполук. Сорт Миколайчик – сорт нового покоління насінневого напрямку використання, характеризується високою урожайністю насіння, підвищеним вмістом олії, поліпшеним її жирнокислотним складом шляхом збалансування оптимального співвідношення ω -3 і ω -6, нижчою висотою рослин на 10–15 см, порівняно з іншими сортами, поширеними у виробництві, що полегшує процес збирання насінневих посівів конопель зернозбиральним комбайном. Чудово реагує на збільшення площі живлення рослин формуванням ромбоподібних фемінізованих суцвіть, які більш продуктивні за масою насіння. Належить до середньостиглої групи. Тривалість вегетаційного періоду до технічної стиглості у середньому становить 94, до біологічної стиглості – 124 доби. За даними конкурсного сорто-випробування з метою отримання волокна урожай стебел у середньому становить 8,7 т/га, волокна – 2,6 т/га, вміст волокна – 29,3%; з метою отримання волокна і насіння урожай насіння у середньому становить 1,45 т/га, що істотно перевищує сорт-стандарт Гляна (за інтенсивної технології вирощування і сприятливих агрокліматичних умов потенційні можливості сорту у формуванні насінневої продуктивності ще вищі), вміст олії в насінні – 35,2%. Статева структура популяції сорту Миколайчик складається більш ніж з 95,0% рослин однодомної фемінізованої матірки, яка має компактне суцвіття (здебільшого ромбоподібне) і переважну більшість жіночих квіток (близько 70%). Рослини плос-

коні однодомних конопель, яка є дестабілізатором ознаки однодомності, відсутні. Має середню стійкість до пошкодження шкідниками і ураження хворобами [61]. З 2019 р. занесений до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні.

Сорт Артеміда (автори – Лайко І. М., Міщенко С. В., Вировець В. Г., Кириченко Г. І.) маючи проміжне успадкування ознаки тривалості вегетаційного періоду батьківських форм, що належать до різних еколого-географічних типів – середньоєвропейського і південного (94 доби до технологічної стиглості і 118 діб до настання біологічної стиглості), вдало поєднав рівень вираження цінних господарських ознак більш ранньостиглого сорту і більш пізньостиглого: при вирощуванні на зеленець дає істотно вищий урожай волокна – 2,56 т/га, вихід всього волокна – 30,4%, зокрема довгого волокна – 27,6%. При вирощуванні на волокно і насіння, істотно поступаючись за висотою рослин, що позитивно для збирання насіння зернозбиральним комбайном, має істотно вищий урожай насіння (1,29 т/га), вміст олії (36,8%) та урожай волокна (2,01 т/га) за сорт-стандарт. Примітною ознакою сорту є здатність давати дружні сходи та інтенсивний ріст на початку вегетації, що сприяє зменшенню забур'яненості посіву [62]. З 2020 р. занесений до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні.

Сорт Гармонія (автори – Міщенко С. В., Лайко І. М., Вировець В. Г., Кириченко Г. І., Лайко Г. М.) створений за інноваційною методикою на основі самозапилених ліній і гетерозисної селекції. При вирощуванні для отримання волокна суттєво перевищує сорт-стандарт за виходом волокна (30,9%), зокрема і довгого волокна (27,8%), від якого безпосередньо залежить його висока якість. При вирощуванні для отримання волокна і насіння суттєво перевищує за урожаєм насіння (1,23 т/га), вмістом олії в насінні (36,5%) і виходом всього волокна (32,1 т/га), що також робить його універсального напряму використання [62]. З 2021 р. занесений до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні.

Сорт Вік 2020 (автори – Лайко І. М., Міщенко С. В., Кириченко Г. І., Вировець В. Г.) – перший на теренах України сорт з підвищеним вмістом канабігеролу (близько 1%), який не належить до психотропних сполук і характеризується низкою лікувальних властивостей. Характеризується урожайністю за основними господарськими показниками не нижче сорту-стандарту Гляна [62]. З 2021 р. занесений до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні.

Сорт Глухівські 51 (автори – Лайко І. М., Вировець В. Г., Кириченко Г. І., Міщенко С. В.) отримано методом гібридизації

дводомних і однодомних конопель (ЮС 8 / ЮСО 46 // ЮС 22 / ЮСО 45) з наступним сімейно-груповим доббором у напрямках підвищення вмісту волокна в стеблах та формування біомаси, стабілізації однодомності та повної відсутності канабіноїдних сполук. Сорт є унікальним і неперевершеним у світовій селекції конопель за вмістом волокна при добрій його якості. Належить до середньостиглої групи. Тривалість вегетаційного періоду до технічної стиглості становить 95–100, до біологічної стиглості – 120–125 діб. За даними конкурсного селекційного сортовипробування при вирощуванні на зеленець урожай стебел становить 9,5–10,5 т/га (за інтенсивної технології вирощування сорт здатен формувати ще вищий урожай стебел), волокна – 3,3–3,6 т/га (зокрема довгого 2,8–3,1 т/га), вміст волокна – до 38,9%, вихід довгого волокна – до 35,8%, що суттєво перевищує сорт-стандарт Гляна. Якісні показники волокна наступні: середній номер довгого волокна – 6,3, розривне навантаження – 38,0 даН, лінійна щільність – 37 текс. При вирощуванні на двобічне використання урожай насіння становить 0,9–1,0 т/га. Статева структура популяції сорту Глухівські 51 складається з 90,0–95,0 % рослин однодомної фемінізованої матірки, яка має компактне суцвіття і переважну більшість жіночих квіток. Рослини плосконі однодомних конопель (дестабілізатора однодомності) відсутні. Має середню стійкість до пошкодження шкідниками і ураження хворобами. Стійкий до осипання насіння [63]. З 2018 року занесений до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні.

Сорт Глухівські 85 (автори Лайко І. М., Вировець В. Г., Кириченко Г. І., Міщенко С. В., Щербань І. І., Кмець І. Л.) – яскраво виражений сорт біоенергетичного і волокнистого напрямів господарського використання. Порівняно з сортом-стандартом він мав більш тривалий період вегетації, а саме – 104 доби до технічної стиглості 127 діб до настання фази біологічної стиглості. Сорт має нижчу насіннєву продуктивність і вміст олії, але за ознаками волокнистості істотно перевищує сорт Гляна та переважну більшість поширених у виробництві сортів конопель, зокрема висота рослин складає за середніми багаторічними даними 235,3 см, урожайність стебел – 9,41 т/га (за інтенсивної технології вирощування – 10,5–12,5 т/га), урожайність всього волокна – 3,05 т/га, зокрема довгого волокна – 2,67 т/га, вихід всього волокна – 32,4%, зокрема довгого волокна – 29,3% при вирощуванні на зеленець; висота стебел – 275,6 см, урожайність всього волокна – 3,12 т/га, зокрема довгого волокна – 2,50 т/га, вихід всього волокна – 33,0%, зокрема довгого волокна – 27,9% при вирощуванні на двобічне використання. Відмінною рисою сорту є досягнення елітними рослинами на селекційному розсаднику висоти 4–5 м [64]. З 2019 р. занесений до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні.

Сучасні сорти конопель характеризуються мінімальним вмістом канабідіолу (від 0,0098 до 0,1470%), мінорними кількостями тетрагідроканабінолу, які межують з повною відсутністю (від 0 до 0,0073 %, тобто в десятки разів менше дозволеної чинним законодавством норми), та відсутністю канабігеролу (табл. 4). Такий вміст тетрагідроканабінолу забезпечує відсутність психотропності у низці послідовних генерацій в процесі репродукування (системі насінництва).

Спеціалізація окремих сортів промислових конопель за основними господарськими показниками з одного боку та універсальність використання з другого боку цілком здатні задовольняти вимоги виробництва, які ставляться до них.

Замість післямови

Селекція відіграє визначальну роль у забезпеченні людства продуктами харчування і промисловості сільськогосподарською сировиною. Специфічною функцією селекції є створення нових сортів і гібридів сільськогосподарських культур для збільшення обсягів виробництва та поліпшення якості продукції. Впливаючи безпосередньо на підвищення рівня продуктивності та рентабельності сільського господарства, селекція перетворюється в ефективний засіб виробництва [65]. У сучасних умовах селекційні дослідження спрямовані на поглиблення генетичних знань про успадкування кількісних і якісних ознак, про стійкість до стресових факторів довкілля і використання цих знань для створення вихідного матеріалу, для селекції високопродуктивних сортів рослин, адаптованих до зональних умов вирощування. Все більшого значення набуває впровадження досягнень біотехнології в генетико-селекційний процес, що сприяє пошуку нових перспективних напрямів [65].

Таблиця 4

Вміст основних канабіноїдних сполук у рослин сучасних сортів конопель (середнє, 2018–2020 рр.)

Сорт	Вміст канабіноїдної сполуки, %		
	канабідіол	тетрагідроканабінол	канабігерол
Гляна, стандарт	0,0559	0,0022	0
Глесія	0,0291	0,0059	0
Миколайчик	0,1470	0	0
Артеміда	0,0098	0,0005	0
Гармонія	0,0258	0,0021	0
Глухівські 51	0,0145	0,0092	0
Глухівські 85	0,0116	0,0073	0

Примітка. Рослини відібрані з пробних снопів конкурсного селекційного сортовипробування; аналіз канабіноїдів проведено методом газової хроматографії; 0 – сполуку не ідентифіковано в межах чутливості хроматографа.

Селекція – це водночас наука, мистецтво, обмежений в просторово-часових вимірах еволюційний процес створення нових генотипів, галузь сільськогосподарського виробництва. Селекція за великим рахунком не має кордонів – ані географічних, ані біологічних, тому що вона має місце у будь-якій країні і відносно кожного виду рослин, окультуреного людиною. Селекція динамічно розвивається: створюються нові сорти та розробляються нові методології. Це пов'язано з тим, що сорт не може існувати вічно, він вироджується через появу мутацій, втрачає адаптацію до умов довкілля через кліматичні зміни, поширення нових шкідників та появи нових штамів збудників хвороб, стає неза-требуваним через зміну вимог виробництва до сільськогосподарської культури; це пов'язано з тим, що робляться нові відкриття в біології загалом та генетиці зокрема.

Селекція промислових конопель також динамічно розвивається, поліпшуються чи з'являються нові генотипи, сорти, удосконалюються та розробляються методи цієї науки. Наразі досягнення в селекції конопель досить вагомі, але вже через деякий час можуть виникнути зовсім інші проблемні моменти і задачі, постати нові вимоги виробництва, як, наприклад, сталося з напрямом селекції на зниження вмісту канабіноїдів. Спочатку дану ознаку взагалі не враховували, починаючи з 80-х рр. 20 ст. було докладено надзвичайно багато зусиль на зниження усіх компонентів канабіноїдів, а зараз є необхідність підвищення вмісту непсихотропних сполук і одночасне зниження вмісту тетрагідро-канабінолу, що пов'язано з розвитком нового напрямку в селекції промислових конопель – медичного. Згодом виникнуть інші селекційно-генетичні інновації у коноплярстві...

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Акуленко К. В. Формування моделі модернізації вітчизняних агропромислових підприємств на засадах інноваційного провайдингу. *Соціальна економіка*. 2018. Вип. 56. С. 9–17.
2. Указ Президента України № 722/2019 від 30.09.2019 «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019#Text> (дата звернення: 21.07.2021)
3. Коноплі / за ред. М. Д. Мигалья, В. М. Кабанця. Суми, 2011. 384 с.
4. Adamovics A. M., Ivanovs S. A., Dubrovskis V. S. Methane production from industrial hemp. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2019. Vol. 13, Iss. 2. P. 20–26. DOI: 10.22314/2073-7599-2018-13-2-20-26
5. Asquer C., Melis E., Scano E.A. et al. Opportunities for green energy through emerging crops: biogas valorization of *Cannabis sativa* L. residues. *Climate*. 2019. Vol. 7, Iss. 12, 142. P. 1–20. DOI: 10.3390/cli7120142
6. Kraszkievicz A., Kachel M., Parafiniuk S. et al. Assessment of the possibility of using hemp biomass (*Cannabis sativa* L.) for energy purposes: a case study. *Applied Sciences*. 2019, Vol. 9, 4437. P. 1–12. DOI: 10.3390/app9204437
7. Rehman M. S. U., Saif A., Mahmood T. et al. Potential of bioenergy production from industrial hemp (*Cannabis sativa*): Pakistan perspective. *Renewable and*

- Sustainable Energy Reviews*. 2013. Vol. 18. P. 154–164. DOI: 10.1016/j.rser.2012.10.019
8. Prade T. Industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) – a high-yielding energy crop: doctoral thesis. Alnarp, 2011. 93 p.
 9. Prade T., Svensson S. E., Andersson A. et al. Biomass and energy yield of industrial hemp for biogas and solid fuel. *Biomass and Bioenergy*. 2011. Vol. 35, Iss. 7. P. 3040–3049. DOI: 10.1016/j.biombioe.2011.04.006
 10. Prade T., Finell M., Svensson S. E. et al. Effect of harvest date on combustion related fuel properties of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.). *Fuel*. 2012. Vol. 102. P. 592–604. DOI: 10.1016/j.fuel.2012.05.045
 11. Prade T., Svensson S. E., Mattsson J. E. Energy balances for biogas and solid biofuel production from industrial hemp. *Biomass and Bioenergy*. 2012. Vol. 40. P. 36–52. DOI: 10.1016/j.biombioe.2012.01.045
 12. Kołodziej J., Władyka-Przybylak M., Mankowski J. et al. Heat of combustion of hemp and briquettes made of hemp shives. *Renewable Energy and Energy Efficiency: proceedings of the international scientific conference (Jelgava, May 28th–30th, 2012)*. Jelgava, 2012. P. 163–166.
 13. Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Степу України / редкол.: М. В. Зубець та ін. Київ, 2010. 986 с.
 14. Самохвалова В. Л. Біологічні методи ремедіації ґрунтів, забруднених важкими металами. *Біологічні Студії*. 2014. Т. 8, № 1. С. 217–236.
 15. Кабанець В. М., Рудник-Іващенко О. І. Коноплі посівні – фітомеліоративна культура. *Агробіологія*. 2017. № 2. С. 141–148.
 16. Кабанець В. М., Михальська Л. М., Швартау В. В. та ін. Фітомеліоративні властивості рослин *Cannabis sativa* L. залежно від сортових особливостей культури. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2017. Vol. 13, No 4. P. 423–428. DOI: 10.21498/2518-1017.13.4.2017.117752
 17. Shi G., Cai Q. Cadmium tolerance and accumulation in eight potential energy crops. *Biotechnology Advances*. 2009. Vol. 27 Iss. 5. P. 555–561. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2009.04.006
 18. Husain R., Weeden H., Bogush D. et al. Enhanced tolerance of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) plants on abandoned mine land soil leads to overexpression of cannabinoids. *PLoS ONE*. 2019. Vol. 14, Iss. 8, e0221570. P. 1–14. DOI: 10.1371/journal.pone.0221570
 19. Angelova V., Ivanova R., Delibaltova V. et al. Bio-accumulation and distribution of heavy metals in fibre crops (flax, cotton and hemp). *Industrial Crops and Products*. 2004. Vol. 19, Iss. 3. P. 197–205. DOI: 10.1016/j.indcrop.2003.10.001
 20. Протас Н. М. Моделювання міграції мікроелементів в системі ґрунт–рослина: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук: спец. 03.00.16 «Екологія». Київ, 2004. 20 с.
 21. Тетерук О. О., Ковальов В. Б., Ландін В. П. та ін. Перспективи вирощування конопель, сої та амаранту на радіоактивно забруднених територіях. *Збалансоване природокористування*. 2018. № 4. С. 37–45. DOI: 10.33730/2310-4678.4.2018.166428
 22. Конопля / под ред. Г. І. Сенченко, М. А. Тимонина. Москва, 1978. С. 9–27.
 23. Пісковий М. Б., Пилипченко А. В. Особливості розвитку біоти ґрунту в посівах конопель за технологіями органічного землеробства та її вплив на продуктивність. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2019. № 3. С. 35–42. DOI: 10.31210/visnyk2019.03.04
 24. Пилипченко А. В., Пісковий М. Б. Особливості селекції нових сортів конопель посівних у ТОВ «Інститут органічного землеробства». *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2020. № 1. С. 13–24. DOI: 10.31210/visnyk2020.01.01

25. Лайко І. М., Міщенко С. В., Орлов М. М. та ін. Перспективи переорієнтації селекції конопель для створення сортів медичного напрямку використання. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2015. Вип. 23. С. 107–111.
26. Шкурдода С. В., Пасічник В. В., Орлов М. М. та ін. Селекція конопель для створення сортів з підвищеним вмістом канабідіолу. *Вісник ХНАУ. Серія «Рослинництво, селекція і насінництво, плодоовочівництво і зберігання»*. 2015. Вип. 2. С. 210–220.
27. Пилипченко А. В., Орлов М. М., Шкурдода С. В. та ін. Результати селекції технічних конопель щодо збільшення вмісту канабігеролу. *Вісник ХНАУ. Серія «Рослинництво, селекція і насінництво, плодоовочівництво і зберігання»*. 2018. Вип. 1. С. 126–134.
28. Міщенко С. В. Теоретичні і практичні основи використання інбридингу і гібридизації в селекції конопель: дис. ... докт. с.-г. наук: 06.01.05. Харків, 2020. 525 с.
29. Мигаль М. Д., Міщенко С. В., Лайко І. М. Інцухт і гетерозис конопель. Суми, 2020. 146 с.
30. Спосіб створення гібридного селекційного матеріалу однодомних конопель без психотропних властивостей: пат. 107427 UA / Міщенко С. В., Лайко І. М. № u 2015 10708; заявл. 03.11.15; опубл. 10.06.16, Бюл. № 11.
31. Міщенко С. В. Рівень прояву та успадкування селекційних ознак у сортолінійних, лінійносортових і міжлінійних гібридів F₁ різних еколого-географічних типів. *Селекція і насінництво*. 2016. Вип. 109. С. 101–110. DOI: 10.30835/2413-7510.2016.74205
32. Mishchenko S. Oil content in the seeds of variety×line, line×variety and interline hemp (*Cannabis sativa* L.) hybrids. *Agrobiodiversity for improving nutrition, health and life quality: the scientific proceedings of the international network AgroBioNet*. Nitra, 2016. P. 325–329.
33. Міщенко С. В. Вміст канабіноїдів у сортолінійних, лінійносортових і міжлінійних гібридів конопель F₁–F₃ та методичні аспекти їх створення. *Вісник Центру наукового забезпечення АПВ Харківської області*. 2016. Вип. 21. С. 186–194.
34. Гуляев Г. В., Гужов Ю. Л. Селекция и семеноводство полевых культур. Москва, 1987. 447 с.
35. Міщенко С. В. Ефекти загальної та варіанси специфічної комбінаційної здатності самозапилених ліній і сортів конопель у системі топкросів. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2017. Т. 21. С. 62–67. DOI: 10.7124/FEEO.v21.808
36. Сухорада Т. І. Селекция южной конопля. Краснодар, 2005. 190 с.
37. Поліщук І. Б., Поліщук В. Д. Формотворчі процеси у спадкових перетвореннях. *Вісник аграрної науки*. 2007. № 2. С. 45–49.
38. Міщенко С. В., Лайко І. М., Ткаченко С. М. Перспективи створення і впровадження сортів промислових конопель на основі конвергентних схрещувань в аспекті сталого розвитку сільських територій. *Стійкий розвиток сільських територій у контексті реалізації державної екологічної політики та енергозбереження / за заг. ред. Т. О. Чайки*. Полтава, 2021. С. 78–89.
39. Міщенко С. В. Статеві структура конвергентних гібридів конопель. *Агробіологія*. 2021. № 1. С. 93–103. DOI: 10.33245/2310-9270-2021-163-1-93-103
40. Міщенко С. В., Лайко І. М. Вплив гаметоцидів на формування чоловічої стерильності та селекційних ознак однодомних конопель. *Селекція і насінництво*. 2017. Вип. 111. С. 88–97. DOI: 10.30835/2413-7510.2017.104890

41. Орлов Н. М. Использование этрела для получения исходного селекционного материала конопли. *Методические указания по качественной оценке конопли на содержание каннабиноидов, получению тетраплоидных форм и использованию этрела*. Москва, 1985. С. 12–15.
42. Спосіб створення синтетичних популяцій конопель: пат. 141089 UA / Міщенко С. В., Лайко І. М. № у 2019 08216; заявл. 15.07.2019; опубл. 25.03.2020, Бюл. № 6.
43. Спосіб селекції сортів однодомних конопель на скоростиглість: пат. 58355 UA / Лайко І. М., Кириченко Г. І., Вировець В. Г., Онупрієнко Л. Г. № у 2010 11234; заявл. 20.09.2010; опубл. 11.04.2011, Бюл. № 7.
44. Лайко І. М. Перспективність створення скоростиглих високопродуктивних сортів однодомних конопель. *Селекція і насінництво*. 2012. Вип. 101. С. 168–172.
45. Лайко І. М. Теоретичні і практичні основи селекції закріплення однодомності, елімінації канабіноїдів та підвищення продуктивності конопель: дис. ... доктора с.-г. наук: 06.01.05. Глухів, 2012. 423 с.
46. Міщенко С. В., Лайко І. М. Накопичення канабідіолу в онтогенезі рослин технічних (промислових) конопель. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2018. Т. 14, № 4. С. 390–399. DOI: 10.21498/2518-1017.14.4.2018.151902
47. Спосіб оцінки рослин конопель на наявність канабіноїдних сполук: пат. 107426 UA / Лайко І. М., Кмець І. Л., Міщенко С. В., Вировець В. Г., Кириченко Г. І. № у 2015 10707; заявл. 03.11.15; опубл. 10.06.16, Бюл. № 11.
48. Спосіб розмноження рослин конопель з насіння з низькою схожістю та життєздатністю: пат. 120489 UA / Міщенко С. В., Лайко І. М. № у 2017 02849; заявл. 27.03.2017; опубл. 10.11.2017, Бюл. № 21.
49. Міщенко С. В. Ефективність розмноження *Cannabis sativa* L. з насіння з низькою схожістю та життєздатністю в умовах *in vitro*. *Таврійський науковий вісник*. 2018. Вип. 100. Т. 2. С. 3–8.
50. Спосіб одержання калусної тканини однодомних ненаркотичних конопель посівних (*Cannabis sativa* L.) середньоросійського еколого-географічного типу в культурі *in vitro*: пат. 132944 UA / Міщенко С. В. № у 2018 05574; заявл. 21.05.2018; опубл. 25.03.2019, Бюл. № 6.
51. Міщенко С. В. Індукція калусогенезу в технічних (промислових) конопель в умовах *in vitro*. *Луб'яні та технічні культури*. 2018. Вип. 6 (11). С. 21–28. DOI: 10.48096/btc.2018.6(11).21-28
52. Міщенко С. В. Вплив аскорбінової кислоти екзогенного походження на *Cannabis sativa* L. в умовах *in vitro* та *in vivo*. *Вісник Центру наукового забезпечення АПВ Харківської області*. 2019. Вип. 26. С. 67–74.
53. Живильне середовище для культивування однодомних ненаркотичних конопель (*Cannabis sativa* L.) середньоросійського еколого-географічного типу в умовах *in vitro*: пат. 139471 UA / Міщенко С. В. № у 2019 06014; заявл. 31.05.2019; опубл. 10.01.2020, Бюл. № 1.
54. Міщенко С. В. Модифікація живильного середовища для культивування непсихотропних конопель (*Cannabis sativa* L.) середньоєвропейського еколого-географічного типу *in vitro*. *Луб'яні та технічні культури*. 2019. Вип. 7 (12). С. 15–23. DOI: 10.48096/btc.2019.7(12).15-23
55. Злобін Ю. А. Курс фізіології і біохімії рослин. Суми, 2004. 464 с.
56. Кириченко Г. І., Лайко І. М., Вировець В. Г., Міщенко С. В. Результати конкурсного сортовипробування нових сортів конопель. *Луб'яні та технічні культури*. 2018. Вип. 6 (11). С. 14–20. DOI: 10.48096/btc.2018.6(11).14-20

57. Міщенко С. В., Кириченко Г. І., Лайко І. М. Новий сорт промислових конопель 'Артеміда' універсального напрямку господарського використання з підвищеним умістом олії та поліпшеною якістю волокна. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2021. Т. 17, № 1. С. 43–50. DOI: 10.21498/2518-1017.17.1.2021.228208
58. Міщенко С. В. Сорт промислових конопель Гармонія як приклад ефективного використання лінійносортової гібридизації в селекції. *Проблеми аграрного виробництва на сучасному етапі і шляхи їх вирішення: матеріали міжнар. наук.-практ. конф., присвяченій ювілейним датам від дня народження видатних вчених-рослиників: 130-річчю від дня народження доктора біол. наук, проф. Л. М. Делоне; 120-річчю від дня народження кандидата с.-г. наук С. М. Фріденталь (Харків, 1–2 липня 2021 р.)*. Харків, 2021. С. 218–222.
59. Mishchenko S. V., Laiko I. M., Kyrychenko H. I. Breeding of industrial hemp with a high content of cannabigerol by the case of 'Vik 2020' cultivar. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2021. Vol. 17, No 2. P. 105–112. DOI: 10.21498/2518-1017.17.2.2021.236514
60. Глесія – сорт промислових конопель насінневого напрямку використання. *Аграрна наука – виробництво*. Київ, 2016. № 3 (77). С. 18.
61. Миколайчик – перспективний сорт конопель насінневого напрямку використання. *Аграрна наука – виробництво*. Київ, 2020. № 3 (93). С. 23.
62. Лайко І. М., Кириченко Г. І., Ткаченко С. М., Міщенко С. В., Лайко Г. М., Срібний М. В. Створення і впровадження нових сортів промислових конопель як складова провайдингу екоінновацій в аграрній і суміжній сферах. *Наукове забезпечення соціально-економічних і управлінських засад розвитку, правового регулювання, провайдингу екоінновацій та енергоефективних технологій в умовах глобалізації в аграрній і суміжній сферах* / за ред. Ю. В. Самойлик. Полтава, 2021. С. 142–151.
63. Глухівські 51 – сорт промислових конопель волокнистого і біоенергетичного напрямку використання. *Аграрна наука – виробництво*. Київ, 2019. № 1 (87). С. 12.
64. Сорт промислових конопель біоенергетичного напрямку використання Глухівські 85. *Аграрна наука – виробництво*. Київ, 2020. № 1 (91). С. 19.
65. Васильківський С. П., Кочмарський В. С. Селекція і насінництво польових культур. Миронівка, 2016. 376 с.