

Assessment of experimental sunflower hybrids for resistance to broomrape (*Orobanche cumana* Wallr.)

V. Bilyk | D. Chuiko✉

Article info

Correspondence Author

D. Chuiko

E-mail:

chuiko93ua@gmail.comState Biotechnological
University,
44 Alchevskih Str.,
Kharkiv, 61000,
Ukraine

Citation: Bilyk, V., & Chuiko, D. (2026). Assessment of experimental sunflower hybrids for resistance to broomrape (*Orobanche cumana* Wallr.). *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 61–67. doi: 10.31210/spi2026.29.01.10

Sunflower is a strategic oilseed crop whose productivity is significantly constrained by infestation with sunflower broomrape (*Orobanche cumana*), a parasitic plant characterized by the continuous emergence of new virulent races. The aim of the study was to conduct a comprehensive evaluation of newly developed experimental sunflower hybrids for resistance to broomrape under both laboratory and field conditions and to identify the most valuable combinations for further breeding programs. During 2023–2025, laboratory screening was performed under an artificial infection background using a mixture of broomrape seeds collected from different regions of Ukraine, followed by field assessment under natural infestation conditions. The experiment included 68 experimental hybrids obtained through diallel crosses between four maternal lines and 20 fertility restorer lines. Resistance was evaluated based on the percentage of infected plants, the number of tubercles or parasite shoots per plant, and an integrated resistance scoring scale; statistical analysis was performed using correlation and regression methods. A pronounced differentiation among hybrids in terms of resistance level was established, along with a decisive influence of the maternal component's genetic background. The highest and most stable resistance in both laboratory and field trials was demonstrated by hybrids involving the A25 line; several combinations showed complete absence of infection over two consecutive years (0 %, score 9), indicating effectiveness against at least six broomrape races (A–F) and likely race G. In contrast, most hybrids derived from A620-16, OD-DI-65-SU, and HA-26-IMI-PR exhibited high or moderate susceptibility, although certain combinations displayed moderate tolerance, supporting the feasibility of targeted selection within these groups. A statistically significant moderate positive correlation was found between laboratory and field infection parameters ($r = 0.683$; $p < 0.001$), with 46.7 % of the variation in field resistance explained by laboratory results, confirming the predictive value of early-stage laboratory screening. The findings enabled the identification of hybrids with high breeding value recommended for advanced competitive trials and for use in breeding programs aimed at developing competitive heterotic forms with an expanded spectrum of resistance to aggressive broomrape races.

Keywords: sunflower, hybrid, breeding, resistance, *Orobanche cumana*.

Оцінка експериментальних гібридів соняшника за стійкістю до вовчка (*Orobanche cumana* Wallr.)

В. В. Білик | Д. В. Чуйко

Державний
біотехнологічний
університет,
м. Харків, Україна

Соняшник є стратегічною олійною культурою, продуктивність якої суттєво обмежується ураженням вовчком соняшниковим (*Orobanche cumana*), расовий склад якого постійно модифікує. Метою дослідження була комплексна оцінка нових експериментальних гібридів за рівнем стійкості до вовчка в лабораторних та польових умовах і виділення найбільш цінних комбінацій для подальшої селекційної роботи. Упродовж 2023–2025 рр. проведено лабораторне тестування на штучному інфекційному фоні з використанням суміші насіння вовчка з різних регіонів України та польову оцінку в умовах природного зараження. Для експерименту було залучено 68 експериментальних гібридів, отриманих у результаті діалельних схрещувань чотирьох материнських ліній із 20 лініями-відновниками фертильності пилку. Облік ураження здійснювали за відсотком інфікованих рослин, кількістю бульбочок або стебел паразита та інтегральною бальною шкалою стійкості; статистичну обробку виконано із застосуванням кореляційно-регресійного аналізу. Встановлено істотну диференціацію гібридів за рівнем резистентності та визначальну роль генетичної природи материнського компонента. Найвищу стабільну стійкість у лабораторних і польових умовах продемонстрували комбінації за участю лінії А25, окремі з яких упродовж двох років не мали уражених рослин (0 %, 9 балів), що свідчить про їх ефективність проти щонайменше шести рас вовчка (А–F) і ймовірно G. Натомість більшість гібридів за участю ліній А620-16, OD-DI-65-SU та HA-26-IMI-PR характеризувалися високою або середньою сприйнятливістю, хоча окремі комбінації виявили помірну толерантність, що підтверджує доцільність подальшого індивідуального добору. Між лабораторними та польовими показниками ураження встановлено достовірний помірний позитивний зв'язок ($r = 0,683$; $p < 0,001$), при цьому 46,7 % варіації польової резистентності пояснюється результатами лабораторного тестування, що підтверджує його прогностичну цінність на ранніх етапах селекції. Отримані результати дозволили виділити групу гібридів із високою селекційною цінністю, які рекомендовано для подальшого конкурсного випробування та використання у програмах створення конкурентоспроможних гетерозисних форм із розширеним спектром стійкості до агресивних рас паразита.

Ключові слова: соняшник, гібрид, селекція, стійкість, *Orobanche cumana*.



Бібліографічний опис для цитування: Білик В. В., Чуйко Д. В. Оцінка експериментальних гібридів соняшника за стійкістю до вовчка (*Orobanche cumana* Wallr.). *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 61–67.

Вступ

Соняшник (*Helianthus annuus* L.) – є однією з ключових олійних культур, що має високу господарську цінність та будучи високо рентабельною культурою забезпечує грошові надходження і ліквідність господарству, а також є ключовою ланкою економіки України. Разом з цим ефективність вирощування соняшника є складним технологічним процесом, а його урожайність першу чергу залежить від правильно підібраного гібриду [1–4].

Широкий генетичний поліморфізм роду *Helianthus* дає селекціонерам можливість створення високопродуктивних, стійких до біотичних та абіотичних факторів гібридів соняшника [5]. Саме стійкість нових гібридів соняшника до найбільш поширених захворювань є одним із ключових елементів його ефективності вирощування у виробництві. Серед одних із найбільш шкідливих організмів для соняшника є паразитична рослина – вовчок соняшниковий (*Orobanche cumana* Wallr.), який за останні 100 років розширив свою расову різноманітність з рас А–D, до найбільш агресивних рас F, G та H, які можуть знищити майже повністю посіви соняшника. Таким чином, офіційно визнаними на сьогодні є вісім рас вовчка соняшникового та певні згадки у дослідженнях про появу нової дев'ятої раси – I [6–8].

Поява нових рас вовчка є стимулятором постійного розвитку селекції за цим напрямком. Сьогодні уже розширено знання про генетичні особливості стійкості соняшника до вовчка, які обумовлюються вертикальною або горизонтальною стійкістю рослин. Генетична стійкість до перших п'яти рас вовчка (А–Е) контролюється домінантними генами *Or1-Or5*. У той час, як генетична стійкість до агресивних рас вовчка є наслідком взаємодії домінантних та рецесивних генів [9, 10].

Згідно різних досліджень було встановлено, що стійкість у гетерозисних гібридів є кращою ніж у інбредних ліній соняшника, внаслідок більш широкої генетичної основи у гібридів [11–16]. На початок 2026 року у Державному реєстрі сортів рослин, придатних до поширення на території України зареєстровано 669 гетерозисних гібридів соняшника (у тому числі 6 сортів), які представлені досить широким генетичним та еколого-географічним різноманіттям [17].

Мета дослідження

Метою нашого дослідження було здійснити комплексну лабораторну та польову оцінку нових експериментальних гібридів соняшника за рівнем стійкості до вовчка (*Orobanche cumana*), встановити зв'язок між показниками штучного та природного інфекційного фону й виділити найбільш цінні гібридні комбінації для подальшого використання у селекційних програмах.

Матеріали і методи

Упродовж 2023–2025 рр. проведено комплексні польові та лабораторні дослідження, спрямовані на оцінку стійкості нових експериментальних гібридів

соняшника до вовчка. Експериментальну частину виконано на базі кафедри генетики, селекції та насінництва Державного біотехнологічного університету. Польові досліди закладали на стаціонарному полі № 2 (49.903806, 36.446012) із дотриманням загальноприйнятих методичних підходів.

Лабораторну оцінку стійкості досліджуваних генотипів здійснювали в умовах регульованого штучного клімату в дослідній лабораторії ТОВ «Нертус Агро», що забезпечувало стандартизацію факторів середовища та підвищення відтворюваності отриманих результатів.

Лабораторну оцінку стійкості експериментальних гібридів соняшника до вовчка (*O. cumana* Wallr.) проводили згідно з методикою, розробленою в IP ім. В.Я. Юр'єва НААН [18]. Як субстрат використовували суміш торфу та піску. Інфекційне навантаження становило 2 г насіння вовчка на кожні 5 кг субстрату. Використовували суміш насіння вовчка з трьох різних географічних точок України (Одеська, Миколаївська та Харківська обл.). Температурні умови вирощування знаходилися у межах +24–28 °C та при відносній вологості повітря у межах 70 %. У якості освітлення були використані світлодіодні лампи повного спектра. Кожен зразок закладали у трьохкратній повторності. Оцінку ступеня ураження коріння рослин бульбочками проводили на 28-й день від початку сходів, коли на кожній рослині підраховували кількість бульбочок, що прикріпилися до коріння.

Польову оцінку ураженості посівів вовчком соняшниковим проводили в умовах природного фону шляхом ручного підрахунку стебел квітконосів (*O. cumana* Wallr.) у посівах кожного експериментального гібриду та підрахунку кількості уражених рослин. У якості гібридів стандартів були використані два гібриди П64ЛП130 та Альдазор з генетичною стійкістю до 7 рас та два гібриди СИ Бакарді КЛП і Си Діамантіс зі стійкістю до 5 рас вовчка (А–Е) (рис. 1). Бал стійкості присвоювався за дев'ятибальною шкалою, де 9 – найвищий бал (0 % уражених рослин), а бал 1 – повна відсутність стійкості (уражено 100 % рослин).



Рис. 1. Ураження вовчком гібриду стандарту Си Діамантіс (зліва) та прояв стійкості у гібриду Альдазор (справа), 2024 рік.

Польові дослідження проведені згідно з методикою Державного сорто випробування [19]. Схрещування були проведені у 2023 році. Сівбу та оцінку експериментальних гібридів проводили 15.05.2024 та 01.05.2025 рр., ручними саджалками, схема посіву стандартна 70×25 см, в трьох разовій повторності, попередник чорний пар. Розміщення дослідних ділянок рандомізоване [20]. Облікова ділянка становила 16,8 м². Додаткове підживлення на посівах не проводили. Для боротьби з бур'янами використовували суміш ґрунтових гербіцидів Дуал Голд (960 г/л S-метолахлор) та Гезагард (500 г/л прометрин) за дві неділі до сівби, норма внесення 2,0 л/га, а також ручні прополювання за потреби.

За результатами діалельних схрещувань було отримано 68 експериментальних гібридів класичного напрямку вирощування. Які були отримані у результаті схрещування 20 ліній відновників фертильності пилку соняшника власної селекції. Серед яких 19 ліній отримані методом комбінативної селекції та одна лінія (ХНАУ488В) створена методом мутаційної селекції. У якості материнських компонентів було використано чотири лінії сербської селекції – А620-16, А25, OD-DI-65-SU та НА-26-ІМІ-PR.

Статистичну обробку даних проводили у програмному забезпеченні Past 5.3. [21].

Результати та їх обговорення

За результатами лабораторної оцінки експериментальних гібридів соняшника було встановлено, що контрольні гібриди П64ЛП130 та Альдазор продемонстрували повну відсутність ураження (0 % уражених рослин, відсутність бульбочок), що відповідало максимальному балу стійкості – 9. Натомість стандарти СИ Бакарді КЛП та Си Діамантіс характеризувалися високим рівнем сприйнятливості (83,3–94,9 % уражених рослин), що відповідало 3 балам стійкості.

Нами було встановлено, що серед експериментальних гібридів найбільш цінними за рівнем лабораторної стійкості виявилися гібриди з материнською лінією А25. Зокрема, А25×СД-018В та А25×СД-06В не мали жодної ураженої рослини (0 %) та мали найвищий ступінь стійкості – 9 балів. Низький рівень ураження (5,0–10,5 %) із незначною кількістю бульбочок відзначено у комбінаціях А25×СД-047В, А25×СД-049В та А25×СД-016В, що відповідало 8 балам стійкості. Більшість інших комбінацій за участю А25 характеризувалася середнім рівнем ураження до 58,8 % з формуванням від 8 до 44 бульбочок, що відповідало 7–8 балам стійкості відповідно.

Гібриди за участю материнської лінії А620-16 у переважній більшості випадків проявили високу сприйнятливості. Для 12 із 17 комбінацій цієї групи рівень ураження становив 80,0–100 %, а загальна кількість бульбочок на рослинах перевищувала 100 шт., що відповідало мінімальному показнику стійкості (3 бали). Винятком була комбінація А620-16×СД-044В (28,6 % уражених рослин, 20 бульбочок, 7 балів), яка демонструвала помірну стійкість.

Аналогічна тенденція встановлена для гібридів із материнськими лініями OD-DI-65-SU та НА-26-ІМІ-PR. Більшість цих комбінацій мала 80–100 % уражених рослин із понад 100 бульбочками на кореневій системі рослин, що свідчить про їх високу

чутливість до паразита (3 бали). Окремі комбінації (наприклад, OD-DI-65-SU×СД-034В та OD-DI-65-SU×СД-014В) формували 100–130 бульбочок при дещо нижчому відсотку ураження і були оцінені нами у 6 балів, що відповідає середньому рівню стійкості.

Загалом, результати лабораторної оцінки свідчать про істотну залежність прояву стійкості від генетичної природи материнського компонента. Найвищий селекційний інтерес становлять гібриди за участю лінії А25, які поєднували низький відсоток ураження з мінімальною кількістю бульбочок та високим інтегральним балом стійкості (8–9). Натомість більшість комбінацій з лініями А620-16, OD-DI-65-SU та НА-26-ІМІ-PR в умовах штучного інфекційного фону виявилися нестійкими до агресивних рас вовчка, що обмежує їх використання як донорів резистентності у подальших селекційних програмах та перспективі їх впровадження у виробництво (*табл. 1*).

Відповідно до отриманих нами результатів польового оцінювання експериментальних гібридів соняшника та гібридів стандартів в умовах природного фону дослідного поля у період 2024 та 2025 років. Нами були виділені перспективні гібриди соняшника зі стійкістю до 6 рас вовчка (А–F), а також, можливо, і до раси G.

Контрольні гібриди П64ЛП130 та Альдазор упродовж обох років не мали жодної ураженої рослини (0,0 %), що відповідало максимальному балу стійкості – 9. Ці гібриди характеризуються високою стійкістю до рас вовчка А-G. Водночас стандарти СИ Бакарді КЛП та Си Діамантіс характеризувалися стабільним ураженням на рівні 18,7–19,6 % із формуванням значної кількості стебел паразита (до 45 шт. у 2024 р.), що відповідало 5 балам стійкості. Дані гібриди за інформацією оригінаторів мають генетичну стійкість до п'яти рас вовчка А-E. Це свідчить про наявність рас вовчка на дослідному полі, як мінімум 6 раси вовчка, до яких дані гібриди стандарти не мають стійкості.

Серед експериментальних гібридів найвищий рівень польової стійкості продемонстрували комбінації за участю материнської лінії А25. Повну відсутність ураження в обидва роки виявлено у гібридів А25×СД-014В, А25×СД-017В, А25×СД-049В, А25×СД-018В та А25×СД-06В (0,0 %, 9 балів). Також, високий рівень резистентності у природньому фоні нами було встановлено для комбінацій гібридів А25×СД-036 та А25×СД-029В, де середній рівень ураження становив лише 0,7–0,8 % (8 балів). Переважна більшість інших комбінацій цієї групи характеризувалася низьким або помірним ураженням (4,2–15,2 %) із балом стійкості 6–7, що свідчить про їх добру адаптивність в умовах природного інфекційного фону.

Гібриди з материнською лінією А620-16 проявили значно більшу варіабельність за рівнем польової стійкості. Частина комбінацій наприклад: А620-16×СД-051В, А620-16×СД-049В характеризувалася високим ступенем ураження – 32,0–33,3 % (4 бали), що свідчить про їх сприйнятливості. Водночас окремі гібриди (А620-16×СД-036, А620-16×СД-054В, А620-16×СД-048В) мали низький рівень ураження (2,2–4,5 %) і були оцінені нами у 7 балів, що вказує на наявність генетично обумовленої толерантності у певних комбінаціях.

Таблиця 1

Результати лабораторної оцінки експериментальних гібридів соняшника до вовчка

№	Гібридна комбінація	Загальна кількість проаналізованих рослин, шт.	Кількість уражених рослин		Загальна кількість бульбочок на рослинах, шт.	Бал стійкості
			шт.	%		
1	П64ЛП130 (Стандарт)	38	0	0,0	0	9
2	Альдазор (Стандарт)	40	0	0,0	0	9
3	СИ Бакарді КЛП (Стандарт)	36	30	83,3	>100	3
4	СИ Діамантіс (Стандарт)	39	37	94,9	>100	3
5	A25×СД-044В	40	20	50,0	26	8
6	A25×СД-036	36	8	22,2	10	8
7	A25×ХНАУ488В	40	12	30,0	12	8
8	A25×СД-034В	34	20	58,8	36	7
9	A25×СД-029В	36	14	38,9	18	8
10	A25×СД-014В	40	8	20,0	24	8
11	A25×СД-051В	34	8	23,5	8	8
12	A25×СД-039-В	34	12	35,3	12	8
13	A25×СД-010В	38	16	42,1	44	7
14	A25×СД-017В	40	6	15,0	20	8
15	A25×СД-057В	38	16	42,1	26	8
16	A25×СД-017В	40	2	5,0	4	8
17	A25×СД-049В	40	4	10,0	4	8
18	A25×СД-016В	38	4	10,5	6	8
19	A25×СД-047В	36	2	5,6	2	8
20	A25×СД-048В	32	14	43,8	14	8
21	A25×СД-018В	32	0	0,0	0	9
22	A25×СД-038В	36	6	16,7	6	8
23	A25×СД-06В	36	0	0,0	0	9
24	A620-16×СД-034В	14	14	100,0	>100	3
25	A620-16×СД-036	36	32	88,9	>100	3
26	A620-16×СД-051В	38	38	100,0	>100	3
27	A620-16×СД-06В	40	26	65,0	>100	3
28	A620-16×СД-017В	38	38	100,0	>100	3
29	A620-16×СД-054В	34	34	100,0	>100	3
30	A620-16×СД-049В	34	34	100,0	>100	3
31	A620-16×СД-039-В	30	30	100,0	>100	3
32	A620-16×СД-014В	30	24	80,0	>100	3
33	A620-16×СД-029В	28	28	100,0	>100	3
34	A620-16×СД-044В	14	4	28,6	20	7
35	A620-16×СД-038В	40	34	85,0	>100	3
36	A620-16×СД-016В	38	38	100,0	>100	3
37	A620-16×СД-048В	46	46	100,0	>100	3
38	A620-16×СД-018В	8	8	100,0	>100	3
39	A620-16×ХНАУ488В	36	30	83,3	>100	3
40	A620-16×СД-047В	30	30	100,0	>100	3
41	OD-DI-65-SU×СД-036	38	34	89,5	>100	3
42	OD-DI-65-SU×СД-051В	32	32	100,0	>100	3
43	OD-DI-65-SU×СД-054В	34	32	94,1	>100	3
44	OD-DI-65-SU×СД-049В	40	32	80,0	>100	3
45	OD-DI-65-SU×ХНАУ488В	36	36	100,0	>100	3
46	OD-DI-65-SU×СД-034В	34	30	88,2	100	6
47	OD-DI-65-SU×СД-029В	36	36	100,0	>100	3
48	OD-DI-65-SU×СД-057В	34	30	88,2	>100	3
49	OD-DI-65-SU×СД-014В	38	36	94,7	130	6
50	OD-DI-65-SU×СД-044В	40	40	100,0	>100	3
51	OD-DI-65-SU×СД-06В	28	26	92,9	>100	3
52	OD-DI-65-SU×СД-038В	32	30	93,8	>100	3
53	OD-DI-65-SU×СД-048В	36	36	100,0	>100	3
54	OD-DI-65-SU×СД-018В	38	36	94,7	>100	3
55	OD-DI-65-SU×СД-047В	34	34	100,0	>100	3
56	OD-DI-65-SU×СД-059В	38	38	100,0	>100	3
57	HA-26-IMI-PR×ХНАУ488В	32	28	87,5	>100	3
58	HA-26-IMI-PR×СД-034В	34	34	100,0	>100	3
59	HA-26-IMI-PR×СД-051В	38	38	100,0	>100	3
60	HA-26-IMI-PR×СД-016В	38	38	100,0	108	6
61	HA-26-IMI-PR×СД-044В	30	30	100,0	>100	3
62	HA-26-IMI-PR×СД-054В	32	30	93,8	>100	3
63	HA-26-IMI-PR×СД-036	38	38	100,0	>100	3
64	HA-26-IMI-PR×СД-014В	38	36	94,7	>100	3
65	HA-26-IMI-PR×СД-06В	34	34	100,0	>100	3
66	HA-26-IMI-PR×СД-057В	32	32	100,0	>100	3
67	HA-26-IMI-PR×СД-059В	40	34	85,0	>100	3
68	HA-26-IMI-PR×СД-047В	30	28	93,3	>100	3
69	HA-26-IMI-PR×СД-049В	32	30	93,8	>100	3
70	HA-26-IMI-PR×СД-038В	36	36	100,0	>100	3
71	HA-26-IMI-PR×СД-018В	38	30	78,9	>100	3
72	HA-26-IMI-PR×СД-048В	38	38	100,0	>100	3

Для гібридів за участю OD-DI-65-SU характерним було переважно середнє ураження (16,6–31,2%), що відповідало 4–5 балам стійкості. Водночас комбінації

OD-DI-65-SU×СД-036, OD-DI-65-SU×ХНАУ488В та OD-DI-65-SU×СД-038В вирізнялися зниженим рівнем ураження (3,5–8,4%) і були оцінені у 7 балів.

Аналогічна тенденція простежувалася і для гібридів із материнською лінією НА-26-ІМІ-PR. Більшість із них мали середній рівень ураження (18,3–24,4 %, 5 балів), проте окремі комбінації

(НА-26-ІМІ-PR×ХНАУ488В, НА-26-ІМІ-PR×СД-051В, НА-26-ІМІ-PR×СД-057В) демонстрували підвищену стійкість із середнім ураженням 6,9–8,3 % (7 балів) (табл. 2).

Таблиця 2

Результати польової оцінки експериментальних гібридів соняшника до вовчка

№	Гібридна комбінація	2024			2025			Середнє ураження посівів за роки, %	Бал стійкості
		ЗКО, шт	КУ, шт	ЗКСВ, шт	ЗКО, шт	КУ, шт	ЗКСВ, шт		
1	П64ЛП130 (Стандарт)	74	0	0	65	0	0	0,0	9
2	Альдазор (Стандарт)	66	0	0	63	0	0	0,0	9
3	СИ Бакарді КУП (Стандарт)	74	16	45	70	11	21	18,7	5
4	Си Діамантіс (Стандарт)	72	14	38	66	13	19	19,6	5
5	A25×СД-044В	68	15	25	72	6	9	15,2	5
6	A25×СД-036	74	0	0	65	1	1	0,8	8
7	A25×ХНАУ488В	62	5	9	60	2	3	5,7	7
8	A25×СД-034В	71	8	17	68	6	10	10,0	7
9	A25×СД-029В	65	0	0	74	1	2	0,7	8
10	A25×СД-014В	60	0	0	63	0	0	0,0	9
11	A25×СД-051В	73	2	5	71	4	7	4,2	7
12	A25×СД-039-В	69	9	14	67	2	5	8,0	7
13	A25×СД-010В	66	13	25	62	5	11	13,9	7
14	A25×СД-017В	75	0	0	75	0	0	0,0	9
15	A25×СД-057В	61	7	19	69	8	11	11,5	6
16	A25×СД-017В	64	0	0	61	0	0	0,0	9
17	A25×СД-049В	70	0	0	66	0	0	0,0	9
18	A25×СД-016В	67	2	2	70	4	7	4,3	7
19	A25×СД-047В	72	1	2	64	0	0	0,7	8
20	A25×СД-048В	63	7	16	73	5	9	9,0	7
21	A25×СД-018В	68	0	0	61	0	0	0,0	9
22	A25×СД-038В	61	4	7	68	2	3	4,7	7
23	A25×СД-06В	75	0	0	75	0	0	0,0	9
24	A620-16×СД-034В	66	14	25	62	17	23	24,3	5
25	A620-16×СД-036	70	0	0	66	4	12	3,0	7
26	A620-16×СД-051В	62	22	36	70	20	31	32,0	4
27	A620-16×СД-06В	74	7	11	64	2	3	6,3	7
28	A620-16×СД-017В	65	19	27	73	11	17	22,1	5
29	A620-16×СД-054В	69	0	0	67	3	3	2,2	7
30	A620-16×СД-049В	60	25	39	60	15	21	33,3	4
31	A620-16×СД-039-В	73	11	18	72	8	17	13,1	6
32	A620-16×СД-014В	67	6	8	69	19	22	18,2	5
33	A620-16×СД-029В	64	18	31	65	3	8	16,4	5
34	A620-16×СД-044В	72	2	3	74	12	19	9,5	7
35	A620-16×СД-038В	63	16	21	63	6	13	17,5	5
36	A620-16×СД-016В	71	13	27	71	18	20	21,8	5
37	A620-16×СД-048В	68	5	15	62	1	1	4,5	7
38	A620-16×СД-018В	66	21	32	75	9	14	21,9	5
39	A620-16×ХНАУ488В	75	9	15	68	14	21	16,3	5
40	A620-16×СД-047В	60	17	31	61	5	12	18,3	5
41	OD-DI-65-SU×СД-036	62	1	4	66	10	19	8,4	7
42	OD-DI-65-SU×СД-051В	74	23	42	74	7	11	20,3	5
43	OD-DI-65-SU×СД-054В	69	8	21	63	16	18	18,5	5
44	OD-DI-65-SU×СД-049В	61	15	27	70	13	21	21,6	5
45	OD-DI-65-SU×ХНАУ488В	73	4	7	67	2	5	4,2	7
46	OD-DI-65-SU×СД-034В	65	20	38	60	19	23	31,2	5
47	OD-DI-65-SU×СД-029В	70	10	16	72	4	7	9,9	7
48	OD-DI-65-SU×СД-057В	67	25	45	69	0	0	18,7	5
49	OD-DI-65-SU×СД-014В	64	12	20	65	20	28	24,8	5
50	OD-DI-65-SU×СД-044В	72	20	46	73	11	24	21,4	5
51	OD-DI-65-SU×СД-06В	63	16	19	64	15	20	24,4	5
52	OD-DI-65-SU×СД-038В	71	2	5	71	3	5	3,5	7
53	OD-DI-65-SU×СД-048В	68	22	36	66	8	13	22,2	5
54	OD-DI-65-SU×СД-018В	75	7	12	75	10	11	11,3	6
55	OD-DI-65-SU×СД-047В	60	19	31	62	1	1	16,6	5
56	OD-DI-65-SU×СД-059В	62	21	33	68	17	25	29,4	4
57	НА-26-ІМІ-PR×ХНАУ488В	74	3	7	61	6	8	6,9	7
58	НА-26-ІМІ-PR×СД-034В	66	11	22	70	14	15	18,3	5
59	НА-26-ІМІ-PR×СД-051В	69	6	9	64	5	7	8,3	7
60	НА-26-ІМІ-PR×СД-016В	61	18	30	73	9	15	20,9	5
61	НА-26-ІМІ-PR×СД-044В	73	13	24	67	18	26	22,3	5
62	НА-26-ІМІ-PR×СД-054В	65	5	13	60	7	11	9,7	7
63	НА-26-ІМІ-PR×СД-036	70	21	38	74	13	17	23,8	5
64	НА-26-ІМІ-PR×СД-014В	67	9	16	63	10	14	14,7	6
65	НА-26-ІМІ-PR×СД-06В	64	17	29	72	16	22	24,4	5
66	НА-26-ІМІ-PR×СД-057В	72	7	15	69	3	8	7,0	7
67	НА-26-ІМІ-PR×СД-059В	63	7	10	65	19	28	20,2	5
68	НА-26-ІМІ-PR×СД-047В	71	8	8	71	4	9	8,5	7
69	НА-26-ІМІ-PR×СД-049В	68	15	20	62	15	23	23,1	5
70	НА-26-ІМІ-PR×СД-038В	75	4	13	75	11	18	10,0	7
71	НА-26-ІМІ-PR×СД-018В	60	9	17	68	2	3	9,0	7
72	НА-26-ІМІ-PR×СД-048В	62	12	19	70	15	21	20,4	5

Примітки: ЗКО – загальна кількість оцінених рослин; КУ – кількість уражених; ЗКСВ – загальна кількість стебел вовчка.

Загалом польова оцінка підтвердила високу селекційну цінність гібридів за участю лінії А25, які поєднували стабільну стійкість упродовж двох років

досліджень із мінімальним розвитком паразита. Подібна варіабельність реакції може пояснюватися впливом полігенних локусів, які регулюють початкові

стадії взаємодії з паразитом, зокрема пригнічення проростання насіння вовчка, утворення фізіологічних бар'єрів у зоні контакту та стримування розвитку гаусторіальної системи, що також було предметом досліджень інших науковців [22–25].

За результатами проведеного нами регресійного аналізу було встановлено, що коефіцієнт кореляції становив $r = 0,683$, що свідчить про наявність помірного позитивного зв'язку між досліджуваними показниками. Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,467$ вказує, що близько 46,7 % варіації польового ураження пояснюється варіацією лабораторного показника. Статистична значущість моделі підтверджена дуже низьким рівнем p -value ($p < 0,001$), що свідчить про достовірність встановленої залежності.

Кутовий коефіцієнт регресії (0,178) демонструє, що зі збільшенням лабораторного ураження на 1 % середній рівень польового ураження зростає приблизно на 0,18 %. Водночас значення R^2 менше 0,5 свідчить про суттєвий вплив інших чинників на формування польової резистентності, зокрема екологічних умов року, неоднорідності інфекційного фону та взаємодії генотип \times середовище (рис. 2).

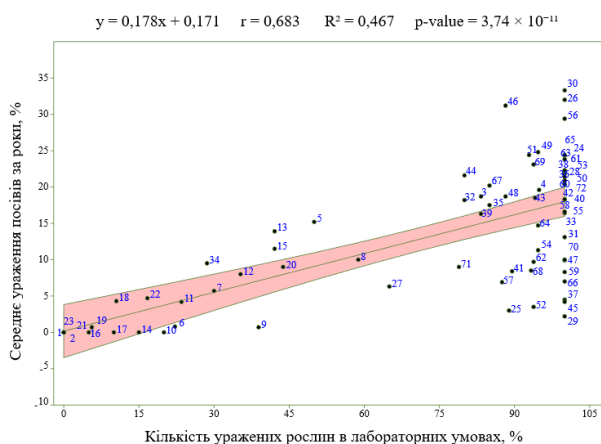


Рис. 2. Графік регресії ураження рослин в лабораторних та польових умовах

Примітки: номери гібридів на графіку відповідно до таблиці 1 та таблиці 2

Отримані результати підтверджують наявність достовірного прямого зв'язку між лабораторною та польовою оцінками та свідчать про достатню прогностичну цінність лабораторного тестування при первинному доборі селекційного матеріалу, хоча повна характеристика стійкості потребує обов'язкової перевірки в умовах природного інфекційного фону.

Висновки

У результаті проведених нами досліджень було встановлено суттєву диференціацію гібридів за рівнем ураження та визначальну роль материнського компонента у формуванні резистентності. Найвищу стійкість у лабораторних і польових умовах продемонстрували комбінації за участю лінії A25, зокрема A25 \times СД-014В, A25 \times СД-017В, A25 \times СД-

049В, A25 \times СД-018В та A25 \times СД-06В, які у польових умовах упродовж двох років не мали уражених рослин (0 %, 9 балів). Натомість більшість гібридів за участю лінії A620-16, OD-DI-65-SU та HA-26-IMI-PR характеризувалися підвищеною сприйнятливістю.

Регресійний аналіз виявив достовірний помірно позитивний зв'язок між лабораторними та польовими показниками ураження ($r = 0,683$; $p < 0,001$), при цьому 46,7 % варіації польової стійкості пояснюється результатами лабораторного тестування. Отримані дані підтверджують доцільність використання лабораторного скринінгу для первинного добору селекційного матеріалу та дозволяють виділити гібриди за участю лінії A25 як найбільш цінні для подальшого дослідження.

ДЕКЛАРАЦІЇ

Етична заява

Не застосовується.

Фінансування

Дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів.

Подяки

Немає.

Декларація щодо використання ШІ та технологій на основі ШІ

Автори заявляють, що не використовували штучний інтелект або технології на основі ШІ під час підготовки цього рукопису.

References

- Vasytkovska, K., Andriienko, O., Vasytkovskyi, O., Andriienko, A., Volodymyr, P., & Malakhovska, V. (2021). Dynamics of export potential of sunflower oil in Ukraine. *Helia*, 44 (74), 115–123. <https://doi.org/10.1515/helia-2021-0001>
- Pilorgé, E. (2020). Sunflower in the global vegetable oil system: situation, specificities and perspectives. *OCL*, 27, 34. <https://doi.org/10.1051/ocl/2020028>
- Anushree, S., André, M., Guillaume, D., & Frédéric, F. (2017). Stearic sunflower oil as a sustainable and healthy alternative to palm oil. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37 (3), 18. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0426-x>
- Chuiko, D. (2021). Plant growth regulator effects on sunflower parents and F1 hybrids. *Žemės Ūkio Mokslai*, 28 (2). <https://doi.org/10.6001/zemesukiomokslai.v28i2.4508>
- Seiler, G. J., Qi, L. L., & Marek, L. F. (2017). Utilization of sunflower crop wild relatives for cultivated sunflower improvement. *Crop Science*, 57 (3), 1083–1101. <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.10.0856>
- Kumar, J., Gupta, D. S., Gupta, S., Dubey, S., Gupta, P., & Kumar, S. (2017). Quantitative trait loci from identification to exploitation for crop improvement. *Plant Cell Reports*, 36 (8), 1187–1213. <https://doi.org/10.1007/s00299-017-2127-y>
- Tshikunde, N. M., Mashilo, J., Shimelis, H., & Odindo, A. (2019). Agronomic and physiological traits, and associated quantitative trait loci (QTL) affecting yield response in wheat (*Triticum aestivum* L.): A review. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1428. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01428>

8. Xu, Y., Li, P., Yang, Z., & Xu, C. (2017). Genetic mapping of quantitative trait loci in crops. *The Crop Journal*, 5 (2), 175–184. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2016.06.003>
9. Pubert, C., Boniface, M.-C., Legendre, A., Chabaud, M., Carrère, S., Callot, C., Cravero, C., Dufau, I., Patrascoiu, M., Baussart, A., Belmonte, E., Gautier, V., Poncet, C., Zhao, J., Hu, L., Zhou, W., Langlade, N., Vautrin, S., Coussy, C., & Muñoz, S. (2024). A cluster of putative resistance genes is associated with a dominant resistance to sunflower broomrape. *Theoretical and Applied Genetics*, 137 (5), 103. <https://doi.org/10.1007/s00122-024-04594-0>
10. Velasco, L., Pérez-Vich, B., & Fernández-Martínez, J. M. (2016). Research on resistance to sunflower broomrape: an integrated vision. *OCL*, 23 (2), D203. <https://doi.org/10.1051/ocl/2016002>
11. Seiler, G. J. (2019). Genetic resources of the sunflower crop wild relatives for resistance to sunflower broomrape. *Helia*, 42 (71), 127–143. <https://doi.org/10.1515/helia-2019-0012>
12. Seiler, G. J., & Jan, C.-C. (2014). Wild sunflower species as a genetic resource for resistance to sunflower broomrape (*Orobanche cumana* Wallr.). *Helia*, 37 (61), 129–139. <https://doi.org/10.1515/helia-2014-0013>
13. Terzic, S., Dedic, B., Atlagic, J., Jocić, S., & Tancic, S. (2010). Screening wild sunflower species and F1 interspecific hybrids for resistance to broomrape. *Helia*, 33 (53), 25–30. <https://doi.org/10.2298/hel1053025t>
14. Popov, V. M., Tereniak, Yu. M., Akinina, H. Ye., Sharypina, Ya. Yu., Dolhova, T. A., & Kyrychenko, V. V. (2015). Detektsiia hena Or5 stiikosti do vovchka soniashnyku za dopomohoiu SCAR-markeru RTS05 [Detection of Or5 gene of resistance to sunflower broomrape using SCAR-marker RTS05]. *Faktyr Eksperymentalnoi Evoliutsii Orhanizmiv*, 17, 330–332. [in Ukrainian]
15. Kurylych, D. V., & Makliak, K. M. (2025). Inheritance of resistance to race f of broomrape (*Orobanche cumana* Wallr.) by sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Agronomy and Biology*, 58 (4), 57–63. <https://doi.org/10.32782/agrobio.2024.4.9>
16. Bilyk, V. V., & Chuiko, D. V. (2025). Breeding assessment of inbred sunflower lines by a set of economic traits and resistance to *Orobanche cumana*. *Plant Breeding and Seed Production*, 128, 13–19. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2025.347588>
17. Ministry of Economy, Environment and Agriculture of Ukraine. (2026). *Derzhavnyi reiestr sortiv roslyn, prydatnykh dlia poshyrennia v Ukraini* [State register of plant varieties suitable for dissemination in Ukraine]. <https://me.gov.ua/Documents/Detail/c5e26c83-ac95-43b8-8d53-a5f8f907099f> [in Ukrainian]
18. Kyrychenko, V. V. (Ed.). (2010). *Spetsialna selektsiia i nasynnytstvo polovykh kultur* [Special breeding and seed production of field crops] (Navch. posib.). IR im. V. Ya. Yurieva NAAN [in Ukrainian]
19. Volkodav, V. V. (Ed.). (2000). *Metodyka derzhavnoho sortovyprobuvannia silskohospodarskykh kultur. Vyp. 1. Zahalna chastyna* [Methodology of state variety testing of agricultural crops. Issue 1. General part]. Derzhavna komisiia Ukrainy po vyprobuvaniu ta okhoroni sortiv roslyn [in Ukrainian]
20. Ermantraut, E. R., Hoptsi, T. I., Kryvoruchenko, R. V., Turchynova, N. P., Chuiko, D. V., Lymanska, S. V., Hudym, O. V., & Kravchenko, A. I. (2025). *Metodyka selektsiinoho eksperymentu (v roslynnytvi)* [Methodology of breeding experiment (in plant growing)] (Navch. posib.). Biotekhknyha [in Ukrainian]
21. Hammer, Ø., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4 (1), 4. https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/past.pdf
22. Calderón-González, A., Pérez-Vich, B., Pouilly, N., Boniface, M.-C., Louarn, J., Velasco, L., & Muñoz, S. (2023). Association mapping for broomrape resistance in sunflower. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1056231. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1056231>
23. Sisou, D., Tadmor, Y., Plakhine, D., Ziadna, H., Hübner, S., & Eizenberg, H. (2021). Biological and transcriptomic characterization of pre-haustorial resistance to sunflower broomrape (*Orobanche cumana* W.) in Sunflowers (*Helianthus annuus*). *Plants*, 10 (9), 1810. <https://doi.org/10.3390/plants10091810>
24. Fernández-Aparicio, M., del Moral, L., Muñoz, S., Velasco, L., & Pérez-Vich, B. (2021). Genetic and physiological characterization of sunflower resistance provided by the wild-derived OrDeb2 gene against highly virulent races of *Orobanche cumana* Wallr. *Theoretical and Applied Genetics*, 135 (2), 501–525. <https://doi.org/10.1007/s00122-021-03979-9>
25. Cvejić, S., Radanović, A., Dedić, B., Jocković, M., Jocić, S., & Miladinović, D. (2020). Genetic and genomic tools in sunflower breeding for broomrape resistance. *Genes*, 11 (2), 152. <https://doi.org/10.3390/genes11020152>

ORCID

V. Bilyk  <https://orcid.org/0009-0008-6800-9251>
D. Chuiko  <https://orcid.org/0000-0002-9271-6334>



© 2026 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.