

УДК: 633.854.78 : 631.527 : 575 : 632.9

Д.В. Курилич*, К.М. Макляк, О.Г. Супрун, Н.В. Кузьмишена, Т.М. Кираш
Мінливість цінних господарських ознак та стійкості до вовчка у високоолеїнових гібридів соняшнику

Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН України, Харків, Україна

*E-mail: kurilich94@gmail.com

UDC: 633.854.78 : 631.527 : 575 : 632.9

D.V. Kurylych*, K.M. Makliak, O.H. Suprun, N.V. Kuzmyshena, T.M. Kyrash
Variability of Valuable Economic Traits and Broomrape Resistance in High-Oleic Sunflower Hybrids

Yuriev Plant Production Institute of NAAS of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

*E-mail: kurilich94@gmail.com

Реферат: Селекцію сучасних гібридів соняшнику спрямовано на поєднання в одному генотипі кількох господарських ознак. У статті викладено результати досліджень особливостей прояву в першому гібридному поколінні соняшнику таких цінних ознак, як висока врожайність та крупність насіння, високий вміст олії в насінні, високий вміст олеїнової кислоти в олії, ранньостиглість, стійкість до вовчка. Вивчено мінливість досліджених ознак залежно від генотипу та року випробувань гібридів. Виділено гібридні комбінації, що поєднують високий і підвищений вміст олеїнової кислоти в олії з іншими господарськими ознаками. За показником «ступінь фенотипового домінування» визначено особливості успадкування цінних господарських ознак у першому гібридному поколінні.

Ключові слова: *Helianthus annuus*, гібрид, *Orobanche cumana*, стійкість до вовчка, жирнокислотний склад олії, господарські ознаки, ступінь фенотипового домінування.

Abstract: Modern sunflower hybrid breeding is focused on combining multiple economic traits within a single genotype. The article presents results on the expression of valuable traits in the first hybrid generation of sunflower, such as high yield, large seeds, high oil content, high oleic acid content, early maturity, and broomrape resistance. The variability of these traits was examined in relation to the genotype and the year of hybrid testing. Hybrid combinations were identified that combine high oleic acid content with other economic traits. Based on phenotypic dominance degree, inheritance patterns for valuable economic traits in the first hybrid generation were determined.

Key words: *Helianthus annuus*, hybrid, *Orobanche cumana*, broomrape resistance, fatty acid composition of oil, economic traits, phenotypic dominance degree.

Вступ

Соняшник є провідною технічною і рентабельною культурою, яка займає в нашій країні більше 70% від загальної площі під олійними культурами. Незважаючи на це, стрімке розширення площ та недотримання сівозмін під соняшником призвело до низки негативних наслідків, зокрема, до зниження родючості ґрунтів, зростання дефіциту доступної вологи та посилення деградаційних процесів у чорноземах,

Introduction

Sunflower is a leading industrial and profitable crop, occupying more than 70% of the total oilseed acreage in our country. Despite this, the rapid expansion of its acreage and non-compliance with crop rotations have led to several negative consequences, including decreased soil fertility, an increasing deficit of available moisture, intensification of degradation

ARTICLE HISTORY. Received: April 17, 2026; revised: April 23, 2026; accepted: April 24, 2026.

CITATION. Kurylych, D. V., Makliak, K. M., Suprun, O. H., Kuzmyshena, N. V., & Kyrash, T. M. (2026). Variability of valuable economic traits and broomrape resistance in high-oleic sunflower hybrids. *Plant Breeding and Seed Production*, (129), 77–92. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2026.129.06>

© Kurylych D. V., Makliak K. M., Suprun O. H., Kuzmyshena N. V., Kyrash T. M.

поширення шкідників, хвороб, бур'янів та рослини-паразита вовчка (Sydiakhina et al., 2023; Shevchenko et al., 2024). Вовчок соняшниковий приєднується до судинної системи кореня рослини-хазяїна, використовуючи її як джерело води та поживних речовин, що призводить до фізіологічного виснаження рослин. Внаслідок цього утворюється щупле насіння, зменшується врожайність, збільшується ураженість збудниками хвороб, а втрати врожаю в крайніх випадках можуть досягти 100 % (Velasco et al., 2012).

Впровадження нових високоврожайних стійких гібридів та інтенсивних технологій вирощування є однією з основних умов розширення виробництва насіння соняшнику (Alberio et al., 2015; Akkaya et al., 2018; Alberio et al., 2018). Селекцію сучасних гібридів соняшнику спрямовано на поєднання цінних господарських ознак – високої урожайності та її складових, ранньостиглості, високого вмісту олії в насінні, високого вмісту олеїнової кислоти в олії, низькорослості, стійкості до біотичних та абіотичних факторів. На вітчизняному селекційному матеріалі доведено можливість поєднання стійкості до вірулентних рас вовчка соняшникового з цінними господарськими ознаками (Kurylych, Makliak, 2024).

Соняшникова олія з високим вмістом олеїнової кислоти Омега 9 (мононенасичений тип) вважається корисною для здоров'я людини. Така олія повільніше окислюється та має довший термін зберігання (Rauf et al., 2017; Aşkın et al., 2020). За використання системи органічного землеробства вирощування високоолеїнового соняшнику забезпечить екологічну рівновагу в структурі посівних площ, дотримання науково обґрунтованих обсягів посіву соняшнику без зменшення економічної ефективності (Yurkevych et al., 2022).

В Інституті рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН програму з поліпшення якісного складу олії соняшнику селекціонери здійснюють впродовж останніх 30 років (Kyrychenko et al., 2000; Kyrychenko et al., 2004; Kyrychenko et al., 2011). Основними жирними кислотами в олії соняшнику є ненасичені кислоти – олеїнова та лінолева, співвідношення яких може змінюватися в широких межах залежно від генотипу, погодних і ґрунтових умов. Для отримання гібридів соняшнику найчастіше залучають у селекцію лінії лінолевого типу. Але нині більш перспективними вважають гібриди соняшнику з високим вмістом олеїнової кислоти. Залучення в селекцію двох батьківських компонентів олеїнового типу призводить до отримання гібридних комбінацій, насіння яких містить

processes in chernozems, and the spread of pests, diseases, weeds, and the parasitic plant broomrape (Sydiakhina et al., 2023; Shevchenko et al., 2024). Sunflower broomrape attaches to the vascular system of the host plant's root, using it as a source of water and nutrients, which leads to physiological depletion of the plant. Consequently, shriveled seeds are formed, yield decreases, susceptibility to pathogens rises, and in extreme cases, yield losses can reach 100% (Velasco et al., 2012).

New high-yielding, resistant hybrids and intensive cultivation technologies are prerequisites for expanding sunflower seed production (Alberio et al., 2015; Akkaya et al., 2018; Alberio et al., 2018). Current sunflower breeding aims to combine valuable economic traits: high yield and its components, early maturity, high seed oil content, high oleic acid content in oil, short stature, and resistance to biotic and abiotic factors. On domestic breeding material, it was proven that combining resistance to virulent races of sunflower broomrape with valuable economic traits is possible (Kurylych & Makliak, 2024).

Sunflower oil with a high content of Omega-9 oleic acid (monounsaturated) is considered beneficial for human health. Such oil oxidizes more slowly and has a longer shelf life (Rauf et al., 2017; Aşkın et al., 2020). In organic farming, the cultivation of high-oleic sunflower will ensure ecological balance in the acreage structure and adherence to scientifically based sunflower planting volumes without reducing economic efficiency (Yurkevych et al., 2022).

At the Yuriev Plant Production Institute of NAAS, breeders have been striving to improve sunflower oil quality for the past 30 years (Kyrychenko et al., 2000; Kyrychenko et al., 2004; Kyrychenko et al., 2011). The major fatty acids in sunflower oil are unsaturated ones—oleic and linoleic—the ratio of which can vary within wide limits depending on the genotype, weather, and soil. Linoleic lines are most commonly involved in breeding to develop sunflower hybrids. However, high-oleic sunflower hybrids are currently considered more promising. Involving two oleic parents in breeding results in hybrid combinations whose seeds contain top-quality oil with the highest oleic acid content.

високоякісну олію з найвищим вмістом олеїнової кислоти.

Метою досліджень стало визначення рівня прояву та мінливості цінних ознак, що включають покращений жирнокислотний склад олії, стійкість до вовчка, ранньостиглість та високий рівень прояву ознак продуктивності у F1 гібридів соняшнику; дослідження особливостей поєднання в першому гібридному поколінні цих важливих господарських ознак та встановлення закономірностей успадкування досліджених ознак.

Методика

Польові дослідження проведені протягом 2023–2024 рр. на дослідних полях Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН у лабораторії селекції та генетики соняшнику. Як стандарт (ст.) у групі гібридів з середнім та високим вмістом олеїнової кислоти в олії використовували гібрид Кадет.

У польових дослідах проводили фенологічні спостереження. Відзначали фазу сходів рослин при появі на поверхні ґрунту сім'ядоль. Фазу повної стиглості визначали за кольором кошика, коли на ділянці залишалось приблизно 10-15 % рослин з жовтими кошиками, а решта набувала жовто-бурого та бурого кольору та була сухою.

Для визначення вмісту олії в насінні та маси 1000 насінин, після очищення насіння від домішок і висушування до стандартної вологості відбирали робочу пробу з кожної облікової ділянки. Масу 1000 насінин визначали згідно з ДСТУ 4138-2002. Вміст олії в насінні визначали методом ядерно-магнітного резонансу на приладі Oxford instruments MQC-5 згідно з ДСТУ ISO 10565. Для аналізу вмісту олії відбирали насіння з вільно запиляних рослин.

Склад жирних кислот визначали на газовому хроматографі «Селміхром 1» за модифікованою методикою Пейскера (Prokhorova, 1982). Для аналізу жирнокислотного складу олії відбирали насіння з рослин, ізольованих під час цвітіння одинарними ізоляторами, виготовленими з агроволоконна.

Для визначення врожайності, насіння збирали на кожній ділянці шляхом суцільного зрізування кошиків з наступним обмолотом. Вагу насіння з ділянки перераховували на тонни з гектара та приводили до вологості 10%.

Оцінку зразків на стійкість до вовчка проводили в умовах теплиці (Кириченко та ін., 1987). Насіння зразків висівали в пластикові стакани об'ємом 0,5 л з інфікованою ґрунтовою сумішшю (2 г суміші насіння вовчка на 5 кг ґрунту). Для досліджень використовували насіння

The purpose of this study was to determine levels of the expression and variability of valuable traits, including improved fatty acid composition of the oil, broomrape resistance, early maturity, and performance in F1 sunflower hybrids; to study the patterns of combining these important economic traits in the first hybrid generation and to establish inheritance patterns of the traits under investigation.

Methods

The field investigations were conducted during at the experimental fields of the Yuriev Plant Production Institute of NAAS in the Laboratory of Sunflower Breeding and Genetics in 2023–2024. 'Kadet' was used as the check hybrid for the group of hybrids with medium and high oleic acid content in the oil.

Phenological observations were performed during the field experiments. The emergence was recorded when the cotyledons appeared on the soil surface. Full maturity was determined by head color, when approximately 10-15% of the plants in the plot retained yellow heads, while the rest turned yellow-brown or brown and were dry.

To determine the oil content and thousand-seed weight, a sample was taken from each record plot after the seeds were cleaned of impurities and dried to standard moisture levels. The thousand-seed weight was determined in accordance with DSTU 4138-2002. The seed oil content was determined by nuclear magnetic resonance on an Oxford Instruments MQC-5 analyzer in accordance with DSTU ISO 10565. For oil content analysis, seeds were collected from open-pollinated plants.

The fatty acid composition was determined using a Selmikhrom-1 gas chromatograph by the modified Peisker method (Prokhorova, 1982). For analysis of the fatty acid composition of the oil, seeds were harvested from plants isolated during anthesis under individual agrofiber bags.

To determine the yield, seeds were harvested from each plot by head-to-head cutting, followed by threshing. The seed weight from the plot was converted to tons per hectare and adjusted to 10% moisture.

Broomrape resistance was assessed in a greenhouse (Kyrychenko et al., 1987). Seeds were sown in 0.5 L plastic cups filled with an infected soil mixture (2 g of broomrape seed mixture per 5 kg of soil). For the research, broomrape seeds

вовчка, зібране в популяції виду на промислових посівах соняшнику в Харківському районі Харківської області, на полях з суттєвим ураження паразитом, де ступінь ураження становив 8 і більше бульбочок на рослину.

Необхідні параметри для розвитку вовчка: температура повітря +24...+28 °С; відносна вологість повітря 70...80 %; 16-ти годинний період освітленості; регулярний полив. Облік кількості бульбочок паразита проводили через 40 діб після сівби насіння соняшнику. Для цього рослини виймали з ґрунту й промивали у воді. Ураження вовчком визначали візуально, шляхом підрахунку кількості бульбочок паразита на корінні кожної рослини, що оцінювали. Обчислювали ступінь ураження шляхом поділу суми бульбочок паразиту на всіх рослинах зразка на загальну кількість рослин зразка, що оцінювали.

У F₁ визначали ступінь фенотипового домінування (hp) цінних господарських ознак за стійкістю до вовчка, врожайністю насіння, тривалістю періоду «сходи–повна стиглість» (ТПСПС), масою 1000 насінин, вмістом олії в насінні, вмістом олеїнової кислоти в олії (Griffing, 1950).

Упродовж 2023–2024 рр. досліджено 22 гібридні комбінації та 20 ліній – їх батьківських компонентів. Для більшості ознак за кращий рівень прояву вважали більше значення. Для ступеня ураження вовчком кращим проявом вважали більшу стійкість, тобто менший ступінь ураження. Для ТПСПС за краще вираження вважали менше вираження ознаки, тобто ранньостиглість. Інтерпретацію значень hp здійснювали за Veil et al. (1965). Згідно зі значеннями hp, виділяли такі типи успадкування ознаки: позитивне наддомінування (ПН); часткове позитивне домінування (ЧПН), проміжне успадкування (ПУ); часткове негативне домінування (ЧНД); негативне наддомінування (НН).

Достовірність різниці між варіантами досліду визначали на 5% рівні значимості. Статистичний параметр $HP_{0.05}$ обчислювали за загальноприйнятою методикою (Rozhkov et al., 2016).

Результати та обговорення

З метою визначення особливостей прояву вмісту олеїнової кислоти в олії та стійкості до вовчка в першому гібридному поколінні, до тест-схрещування залучено лінії, різноманітні за вмістом олеїнової кислоти в олії (табл. 1).

were used that had been taken from a population in commercial sunflower fields in the Kharkivskyi District of the Kharkivska Oblast, specifically in fields with significant parasite infestation where the infection intensity was 8 or more tubercles per plant.

The necessary parameters for broomrape development included: air temperature +24...+28 °C; relative humidity 70...80%; a 16-hour photo-period; and regular watering. The number of parasite tubercles was recorded 40 days after sowing the sunflower seeds. For this purpose, the plants were removed from the soil and washed in water. Broomrape infection was determined visually by counting the number of parasite tubercles on the roots of each evaluated plant. The infection intensity was calculated by dividing the total number of parasite tubercles on all plants of the sample by the total number of evaluated plants in the sample.

In F₁, the phenotypic dominance degree (hp) for valuable economic traits—broomrape resistance, seed yield, length of the "emergence–full maturity" period (EFMP), thousand-seed weight, seed oil content, and oleic acid content in the oil—was determined (Griffing, 1950).

In 2023–2024, 22 hybrid combinations and 20 lines (their parental components) were studied. For most traits, a higher value was considered the better level of expression. For broomrape infection intensity, better expression meant higher resistance, i.e., a lower degree of infection. For EFMP, a weaker expression of the trait, indicating early maturity, was considered better. The interpretation of hp values was performed according to Veil et al. (1965). Based on hp values, the following types of inheritance were identified: positive overdominance (POD); partial positive dominance (PPD); intermediate inheritance (II); partial negative dominance (PND); and negative overdominance (NOD).

The statistical significance of differences between experimental variants was assessed at a 5% level. LSD 0.05 was calculated by the traditional method (Rozhkov et al., 2016).

Results and Discussion

To determine expression patterns of the "oleic acid content" and "broomrape resistance" traits in the first hybrid generation, lines with various oleic acid content in the oil were involved in test crosses (Table 1).

Таблиця 1. Вміст олеїнової кислоти в олії насіння ліній-батьківських компонентів гібридів соняшнику, % до суми кислот, 2023–2024 рр.

Table 1. Oleic acid content in the seed oil of the parental lines of sunflower hybrids, % of total fatty acids, 2023–2024

Лінія / Line	2023	2024	Середнє / Mean	Лінія / Line	2023	2024	Середнє / Mean
Cx 1006 A / Skh 1006 A	25.5	27.5	26.5	XЗУ 3 B / KhZU 3 V	19.0	21.0	20.0
Cx 808 A / Skh 808 A	19.3	22.7	21.0	XЗУ 8 B / KhZU 8 V	25.0	29.0	27.0
Cx 81 A / Skh 81 A	25.0	31.1	28.0	XЗУ 22 B / KhZU 22 V	24.0	27.4	25.7
Cx 83 A / Skh 83 A	85.5	87.2	86.4	XЗУ 30 B / KhZU 30 V	21.0	23.5	22.3
XЗУ 37 B / KhZU 37 V	19.0	18.3	18.6	IU 075136 / IU 075136	49.3	52.9	51.1
XЗУ 39 B / KhZU 39 V	18.0	18.9	18.5	IU 075135 / IU 075135	19.4	27.0	23.2
X 1814 B / Kh 1814 V	24.3	26.2	25.2	IU 075139 / IU 075139	20.5	27.0	23.8
X 1817 B / Kh 1817 V	28.9	33.8	31.4	IU 075137 / IU 075137	44.6	56.5	50.6
XЗУ 10 B / KhZU 10 V	21.1	24.6	22.8	IU 075138 / IU 075138	86.9	84.9	85.9
XЗУ 23 B / KhZU 23 V	20.3	30.4	25.3	IU 075134 / IU 075134	25.0	26.9	26.0

У середньому за два роки, лініям Cx 83 A та IU 075138 був притаманний високий вміст олеїнової кислоти (86,4 та 85,9%, відповідно), лініям IU 075136 та IU 075137 – середній вміст олеїнової кислоти (51,1 та 50,6%, відповідно). Інші лінії, залучені до схрещувань, віднесено до групи ліній низькоолеїнового (лінолевого) типу. Середній за два роки вміст олеїнової кислоти в їх олії варіював від 18,5% (XЗУ 39 B) до 31,4 % (X 1817 B).

З порівняння даних за 2023 і 2024 рр. видно, що вміст олеїнової кислоти за роками варіював несуттєво. Незначні варіювання цього показника за роками досліджень підтверджують відносну стабільність ознаки в різних умовах середовища, що узгоджується з даними щодо контролю вмісту олеїнової кислоти в соняшниковій олії генетичними факторами. Водночас встановлено певну тенденцію до підвищення вмісту олеїнової кислоти в умовах 2024 року, що може бути пов'язане з особливостями температурного режиму в період наливу насіння, а саме з залежністю між підвищеними температурами повітря та інтенсивністю синтезу олеїнової кислоти (Makliak et al., 2014).

Не виявлено ліній, які в один рік випробувань можна віднести до групи високо- або середньоолеїнових, у другий рік – до групи низькоолеїнових. Серед ліній групи низькоолеїнових, залежно від погодних умов року найбільшою мірою вміст олеїнової кислоти варіював у лінії XЗУ 23 B – від 20,3 % у 2023 році

On average across two years, the lines ‘Skh 83 A’ and ‘IU 075138’ were characterized by a high oleic acid content (86.4% and 85.9%, respectively), while the lines ‘IU 075136’ and ‘IU 075137’ showed a medium oleic acid content (51.1% and 50.6%, respectively). Other lines involved in the crosses were classified as low-oleic (linoleic) lines. Their two-year mean values of oleic acid content in the oil varied from 18.5% (‘KhZU 39 V’) to 31.4% (‘Kh 1817 V’).

A comparison of the 2023 and 2024 data shows that the oleic acid content varied insignificantly across the years. Minor variations in this parameter confirm the relative stability of the trait under different environmental conditions, which is consistent with data regarding the genetic control of oleic acid content in sunflower oil. At the same time, there was an upward trend in oleic acid content in 2024, which may be related to the specific temperature regime during the seed filling period, namely the correlation between elevated air temperatures and oleic acid synthesis intensity (Makliak et al., 2014).

No lines were identified that could be classified into the high- or medium-oleic groups in one year of testing and into the low-oleic group in the other. Among the low-oleic lines, depending on the weather, the oleic acid content varied most significantly in ‘KhZU 23 V’ – from

до 30,4% у 2024 році, тобто збільшився на 10,1%. У середньоолеїнової лінії IU 075137 вміст олеїнової кислоти залежно від погодних умов року варіював від 44,6 у 2023 році до 56,5% у 2024 році, тобто збільшився на 11,9%. Мінливість вмісту олеїнової кислоти в олії насіння інших ліній була менш помітною, його зростання у 2024 році варіювало від 0,9% у лінії ХЗУ 39 В до 7,6% у лінії IU 075135.

Оцінка успадкування цінних господарських ознак у першому гібридному поколінні за показником «ступінь фенотипового домінування» була успішною на соняшнику як для ознак продуктивності (Носаль та ін., 2017), так і для ознак стійкості до збудників хвороб (Левицька та ін., 2023). Відомості про особливості успадкування різних цінних господарських ознак у гібридів F1 можуть бути використані в селекційному процесі при створенні гібридів відповідно до ринкових вимог.

Вміст олеїнової кислоти в олії 12-ти стійких до вовчка гібридних комбінацій соняшнику, створених з участю наведених вище ліній олеїнового типу, у 2023 році варіював від 45,0 до 86,5% та у 2024 році від 48,8 до 86,9% (табл. 2). Ступінь фенотипового домінування ознаки варіював у 2023 році від -0,01 до 1,04, а у 2024 році від -0,23 до 0,74. Гібриди цієї групи порівнювали з високоолеїновим гібридом Кадет, із середнім за два роки вмістом олеїнової кислоти в олії 83,9% та ступенем ураження вовчком 3,60 та 11,3 бульбочки на рослину у 2023 і 2024 році, відповідно.

За вмістом олеїнової кислоти перевищила стандарт одна гібридна комбінація – Сх 83 А × IU 075138, із вмістом олеїнової кислоти 86,5 і 86,9%. Оскільки ступінь ураження вовчком цієї комбінації становив 0,00 та 0,23 бульбочки у 2023 і 2024 році, відповідно. Цю комбінацію охарактеризовано як високоолеїнову та стійку до вовчка. Виявлення подібної гібридної комбінації підтверджує можливість одночасного поєднання якісних та адаптивних ознак в одному генотипі соняшника, що є одним із ключових завдань сучасної гетерозисної селекції.

Ступінь фенотипового домінування ознаки стійкості до вовчка досліджених 12 гібридів варіював у 2023 році від 0,77 до 2,51, а у 2024 році від 0,30 до 1,03, тобто за ступенем гібриди можна віднести до типів від проміжного успадкування ознаки до позитивного наддомінування (гетерозису).

Особливу увагу привернула лінія Сх 83 А, використання якої у схрещуваннях забезпечило формування гібридних комбінацій із стабільно високим або середнім вмістом олеїнової кислоти. Це може свідчити про наявність у генотипі

20.3% in 2023 to 30.4% in 2024, i.e., it increased by 10.1%. In the medium-oleic line 'IU 075137', the oleic acid content varied from 44.6% in 2023 to 56.5% in 2024, meaning an increase of 11.9%. The variability of oleic acid content in the seed oil of the other lines was less noticeable: in 2024, the increase in this parameter ranged from 0.9% in 'KhZU 39 V' to 7.6% in 'IU 075135'.

The evaluation of the inheritance of valuable economic traits in the first hybrid generation using phenotypic dominance degree was successful in sunflower both for performance traits (Nosal et al., 2017) and for resistance to pathogens (Levytska et al., 2023). Information on the inheritance patterns of different valuable economic traits in F1 hybrids can be utilized in breeding to create hybrids that meet market requirements.

The oleic acid content in the oil of 12 broomrape-resistant sunflower hybrids, which had been originated from the aforementioned oleic lines, varied from 45.0 to 86.5% in 2023 and from 48.8 to 86.9% in 2024 (Table 2). The phenotypic dominance degree (hp) for the trait varied from -0.01 to 1.04 in 2023 and from -0.23 to 0.74 in 2024. The hybrids of this group were compared with the high-oleic hybrid 'Kadet', which had a two-year mean oleic acid content of 83.9% and a broomrape infection intensity of 3.60 and 11.3 tubercles per plant in 2023 and 2024, respectively.

One hybrid combination - 'Skh 83 A × IU 075138' – was superior to the check cultivar in terms of oleic acid content, with values of 86.5% and 86.9%. Since the broomrape infection intensity in this combination was 0.00 and 0.23 tubercles in 2023 and 2024, respectively, it was classified as high-oleic and broomrape-resistant. Such a hybrid combination confirms that it is possible to combine qualitative and adaptive traits within a single sunflower genotype, which is a key objective of current heterosis breeding.

The phenotypic dominance degree (hp) for the "broomrape resistance" trait in the 12 studied hybrids varied from 0.77 to 2.51 in 2023 and from 0.30 to 1.03 in 2024. Thus, based on the dominance degree, the hybrids can be categorized into groups ranging from intermediate inheritance of the trait to positive overdominance (heterosis).

Particular attention was drawn to 'Skh 83 A', crossing of which resulted in hybrids with consistently high or medium oleic acid content. This may indicate the presence of effective alleles in this genotype controlling the "oleic acid

ефективних алелів, що контролюють відповідну ознаку, а також про їх домінуючий характер успадкування. Господарські ознаки кращих за врожайністю гібридних комбінацій з лінією Сх 83 А наведено в таблиці 3.

content” trait and their dominant inheritance. The economic traits of the hybrids derived from ‘Skh 83 A’ that performed best in terms of yield are presented in Table 3.

Таблиця 2. Вміст олеїнової кислоти в олії насіння стійких до вовчка гібридних комбінацій соняшнику, % до суми кислот, і ступінь ураження вовчком, шт., 2023–2024 рр.

Table 2. Oleic acid content in the seed oil of broomrape-resistant sunflower hybrids (% of total fatty acids) and broomrape infection intensity (tubercles/plant), 2023–2024

Гібридна комбінація / Hybrid combination	Вміст олеїнової кислоти, % до суми кислот / Oleic acid content, % of total fatty acids				Ступінь ураження вовчком, шт. / Broomrape infection intensity, tubercles/plant			
	2023	h _p	2024	h _p	2023	h _p	2024	h _p
Cx 1006 A × IU 075137 / Skh 1006 A × IU 075137	45.0	1.04	48.8	0.47	0.00	1.40	0.34	0.84
Cx 1006 A × IU 075138 / Skh 1006 A × IU 075138	57.6	0.05	60.9	0.16	0.00	2.51	0.56	0.74
Cx 83 A × X1814 B / Skh 83 A × Kh1814 V	65.5	0.35	71.4	0.48	0.26	0.77	0.78	0.30
Cx 83 A × X1817 B / Skh 83 A × Kh1817 V	64.7	0.27	68.4	0.30	0.00	1.12	0.22	0.88
Cx 83 A × X3Y 3 B / Skh 83 A × KhZU 3 V	65.2	0.39	67.2	0.40	0.00	1.02	0.12	0.89
Cx 83 A × X3Y 8 B / Skh 83 A × KhZU 8 V	61.0	0.19	63.0	0.17	0.00	1.04	0.22	0.80
Cx 83 A × X3Y 10 B / Skh 83 A × KhZU 10 V	70.4	0.53	69.8	0.44	0.34	0.86	0.00	1.03
Cx 83 A × X3Y 22 B / Skh 83 A × KhZU 22 V	68.0	0.43	69.1	0.40	0.26	0.77	0.56	0.50
Cx 83 A × IU 075134 / Skh 83 A × IU 075134	61.0	0.19	62.3	0.17	0.00	1.20	0.22	0.80
Cx 83 A × IU 075137 / Skh 83 A × IU 075137	71.9	0.34	77.8	0.39	0.00	2.25	0.00	1.01
Cx 83 A × IU 075138 / Skh 83 A × IU 075138	86.5	0.43	86.9	0.74	0.00	1.41	0.23	0.83
Cx 83 A × IU 075139 / Skh 83 A × IU 075139	52.6	-0.01	50.1	-0.23	0.17	1.19	0.56	0.58
Кадет – ст. / Kadet, check hybrid	85.4	–	82.4	–	3.60	–	11.3	–

Таблиця 3 Господарські ознаки краших за врожайністю гібридів соняшнику з лінією Сх 83 А, 2023–2024 рр.**Table 3.** Economic traits of the top-yielding sunflower hybrids derived from ‘Skh 83 A’, 2023–2024

Гібридна комбінація /	Урожайність насіння, т/га / Seed yield, t/ha				ТПСПС, діб / EFMP, days				Вміст олії в насінні, % / Seed oil content, %			
	2023	hp	2024	hp	2023	hp	2024	hp	2023	hp	2024	hp
Cx 83 A × X 1814 B / Skh 83 A × Kh 1814 V	2.27	1.51	2.31	2.81	111 ¹⁾	–3.33	110 ¹⁾	–0.33	49.4	5.46	53.6	–0.57
Cx 83 A × X3Y 10 B / Skh 83 A × KhZU 10 V	1.61 ²⁾	4.04	2.11	2.16	106	–0.33	105 ²⁾	1.52	47.8	25.0	52.9	0.75
Cx 83 A × X3Y 22 B / Skh 83 A × KhZU 22	2.19	1.43	2.23	2.37	104 ²⁾	–1.00	103 ²⁾	15.0	44.6 ²⁾	0.90	48.9 ²⁾	0.49
Cx 83 A × X3Y 30 B / Skh 83 A × KhZU 30 V	2.08	1.29	2.12	2.00	104 ²⁾	–0.94	103 ²⁾	0.28	47.3 ²⁾	2.08	51.6 ²⁾	–6.50
Cx 83 A × X3Y 37 B / Skh 83 A × KhZU 37 V	2.07	1.37	2.11	2.31	103 ²⁾	–0.88	102 ²⁾	–0.08	49.5	2.00	53.7	1.57
Cx 83 A × X3Y 39 B / Skh 83 A × KhZU 39 V	1.98	1.42	2.02	2.09	104 ²⁾	–0.95	103 ²⁾	–0.02	50.4	3.04	54.6	1.68
Cx 83 A × IU 075136 / Skh 83 A × IU 075136	2.06	1.35	2.10	2.72	108	–2.85	107	0.72	46.9 ²⁾	1.64	51.2 ²⁾	0.30
Cx 83 A × IU 075137 / Skh 83 A × IU 075137	1.75 ²⁾	0.76	1.97	1.50	102 ²⁾	–0.15	106	0.18	40.6 ²⁾	–3.00	52.9	0.88
Cx 83 A × IU 075138 / Skh 83 A × IU 075138	1.91	1.04	2.08	2.32	101 ²⁾	–0.10	112 ¹⁾	–3.60	45.7 ²⁾	1.14	50.2 ²⁾	–59.0
Кадет ст. / Kadet, check hybrid	2.30	–	2.35	–	108	–	113	–	49.4	–	57.5	–
НІР _{0.05} порівняння з середнім значенням / LSD _{0.05} in comparison with the mean value	0.31	–	0.27	–	1.8	–	1.2	–	2.7	–	2.1	–
НІР _{0.05} попарного порівняння / LSD _{0.05} for pair comparisons	0.44	–	0.38	–	2.5	–	1.7	–	3.9	–	3.0	–
Примітка 1. ¹⁾ – значимо перевищує середнє значення за дослідом ($p < 0.05$). / Note 1. ¹⁾ – significantly higher than the mean value in the experiment ($p < 0.05$). Примітка 2. ²⁾ – значимо нижче за середнє значення за дослідом ($p < 0.05$). / Note 2. ²⁾ – significantly lower than the mean value in the experiment ($p < 0.05$).												

За вмістом олії в насінні, всі наведені гібридні комбінації були на рівні середнього значення або мали вміст олії в насінні нижчий за таке значення.

Чотири гібридні комбінації з наведених з материнською лінією Сх 83 А за даними двох років досліджень віднесено до ранньостиглих: Сх 83 А × ХЗУ 22 В, Сх 83 А × ХЗУ 30 В, Сх 83 А × ХЗУ 37 В, Сх 83 А × ХЗУ 39 В. Також вони достигали раніше, ніж стандарт Кадет, у якого ТПСПС становила 108 і 113 діб у 2023 і 2024 році, відповідно. У 2023 році були більш пізньостиглими порівняно до стандарту гібридні комбінації Сх 83 А × Х 1814 В (111 діб) та Сх 83 А × ІУ 075136 (108 діб). Інші сім гібридних комбінацій мали ТПСПС від 101 до 106 діб. У 2024 році всі гібридні комбінації мали ТПСПС від 102 до 112 діб.

Згідно з показником «ступінь фенотипового домінування» за ознакою «стійкість до вовчка», гібридні комбінації розподілено на п'ять груп: позитивне наддомінування, часткове позитивне домінування, проміжне успадкування, часткове негативне домінування та негативне наддомінування. Отже, щодо стійкості до вовчка, встановлено широкий діапазон варіювання показника фенотипового домінування. Така варіабельність свідчить про складну генетичну природу цієї ознаки та можливу участь кількох генів із різним типом взаємодії.

Далі всередині кожної групи ми розділили гібридні комбінації на групи залежно від типу успадкування за кожною з цінних господарських ознак: вміст олеїнової кислоти в олії, урожайність насіння, маса 1000 насінин, вміст олії в насінні та ТПСПС.

Для дослідження успадкування стійкості до вовчка визначали ступені домінування ознаки тільки у гібридних комбінацій олеїнового типу. Успадкування стійкості до вовчка за типом повного наддомінування було притаманне 27,3 % гібридних комбінацій олеїнового типу (табл. 4, табл. 5). Часткове позитивне домінування стійкості до вовчка продемонстрували 45,5% гібридних комбінацій олеїнового типу, проміжне успадкування – 9,09%, часткове негативне домінування – 4,55%, негативне наддомінування – 13,6%. Це свідчить про те, що більшості гібридних комбінацій олеїнового типу було притаманне позитивне наддомінування та часткове позитивне домінування ознаки стійкості до вовчка.

Більшість гібридних комбінацій олеїнового типу мали проміжний тип успадкування

Regarding seed oil content, all the listed hybrids were at the level of the mean value or had an oil content lower than the mean.

Based on two-years data, four of the presented hybrid combinations with the maternal line 'Skh 83 A' were classified as early-maturing: 'Skh 83 A × KhZU 22 V', 'Skh 83 A × KhZU 30 V', 'Skh 83 A × KhZU 37 V', and 'Skh 83 A × KhZU 39 V'. They also matured earlier than 'Kadet' (check hybrid), which had an EFMP of 108 and 113 days in 2023 and 2024, respectively. In 2023, the hybrid combinations 'Skh 83 A × Kh 1814 V' (111 days) and 'Skh 83 A × IU 075136' (108 days) matured later than the check hybrid. The other seven hybrids had an EFMP ranging from 101 to 106 days. In 2024, all hybrid combinations had an EFMP from 102 to 112 days.

According to the phenotypic dominance degree for the "broomrape resistance" trait, the hybrids were divided into five groups: positive overdominance, partial positive dominance, intermediate inheritance, partial negative dominance, and negative overdominance. Thus, regarding broomrape resistance, there was a wide range of variation in the phenotypic dominance degree. Such variability indicates a complex genetic nature of this trait and possible involvement of several genes with different types of interactions.

Furthermore, within each group, we divided the hybrids into subgroups depending on the inheritance type for each of the valuable economic traits: oleic acid content in the oil, seed yield, thousand-seed weight, seed oil content, and EFMP.

In the investigation of the inheritance of the "broomrape resistance" trait, the dominance degrees for this trait were determined only for oleic hybrids. The inheritance of broomrape resistance by complete overdominance was intrinsic to 27.3% of the oleic hybrid combinations (Table 4, Table 5). Partial positive dominance of broomrape resistance was demonstrated by 45.5% of the oleic hybrids, intermediate inheritance – by 9.09%, partial negative dominance – by 4.55%, and negative overdominance – by 13.6%. This indicates that the majority of oleic hybrid combinations exhibited positive overdominance and partial positive dominance of the "broomrape resistance" trait.

високого вмісту олеїнової кислоти в олії. В умовах 2023 року також встановлено успадкування вмісту олеїнової кислоти за типами часткового позитивного домінування, проміжного успадкування і часткового негативного домінування. За успадкування стійкості до вовчка за типом позитивного наддомінування, 16,7% гібридних комбінацій показали позитивне наддомінування вмісту олеїнової кислоти в олії, 16,7% – часткове позитивне домінування, 50% – проміжне успадкування, і 16,7% – негативне наддомінування ознаки. За типом часткового позитивного домінування стійкості до вовчка, 10% гібридних комбінацій мали часткове позитивне домінування вмісту олеїнової кислоти в олії, тоді як інші гібридні комбінації (90%) мали проміжне успадкування ознаки.

За врожайністю насіння в умовах 2023 року, крім успадкування за типом часткового позитивного наддомінування, встановлено переважно позитивне наддомінування. Гібридні комбінації групи позитивного наддомінування стійкості до вовчка показали 83,3% позитивного наддомінування і 16,7% часткового позитивного домінування врожайності насіння. Гібридні комбінації групи часткового позитивного домінування стійкості до вовчка показали 80,0% позитивного наддомінування, 10,0% часткового позитивного домінування і 10,0% проміжного успадкування урожайності насіння.

В умовах 2023 року успадкування маси 1000 насінин у більшості гібридних комбінацій спостерігали позитивне наддомінування високої маси 1000 насінин. Винятком були гібриди, які за успадкуванням стійкості до вовчка віднесено до типу негативного наддомінування ознаки, вони мали проміжне успадкування ознаки високої маси 1000 насінин.

За вмістом олії в насінні у більшості гібридних комбінацій спостерігали успадкування за типом позитивного наддомінування високого вмісту.

The majority of oleic hybrid combinations exhibited intermediate inheritance of oleic acid content in the oil. In 2023, inheritance of oleic acid content was also inherited by partial positive dominance, intermediate inheritance, and partial negative dominance. In the group of inheritance of broomrape resistance by positive overdominance, 16.7% of hybrid combinations showed positive overdominance for oleic acid content in the oil, 16.7% – partial positive dominance, 50% – intermediate inheritance, and 16.7% – negative overdominance for the trait. In the group of partial positive dominance of broomrape resistance, 10% of hybrid combinations exhibited partial positive dominance for oleic acid content, while the other hybrid combinations (90%) showed intermediate inheritance of the trait.

As to seed yield, in 2023, in addition to inheritance by partial positive overdominance, positive overdominance was predominantly recorded. Hybrid combinations in the positive overdominance group for broomrape resistance showed 83.3% positive overdominance and 16.7% partial positive dominance for seed yield. Hybrid combinations in the partial positive dominance group for broomrape resistance showed 80.0% positive overdominance, 10.0% partial positive dominance, and 10.0% intermediate inheritance for seed yield.

In 2023, the inheritance of thousand-seed weight in the majority of hybrid combinations was defined as positive overdominance for high thousand-seed weight. The exceptions were hybrids classified by broomrape resistance inheritance as negative overdominance; they exhibited intermediate inheritance for high thousand-seed weight.

As to seed oil content, the majority of hybrid combinations inherited high oil content by positive overdominance.

Таблиця 4. Кількість гібридних комбінацій за типом успадкування ознак, %, 2023 рік**Table 4.** Number of hybrid combinations by trait inheritance type, %, 2023

Ступені домінування стійкості до вовчка / Dominance degree for broomrape resistance	Вміст олеїнової кислоти в олії / Oleic acid content in the oil			Урожайність насіння / Seed yield			Маса 1000 насінин / 1000-seed weight			Вміст олії в насінні / Seed oil content			ТПСПС / EFMP		
	ПН / POD	ЧПД / PPD	ПУ / П	ЧНД / PND	ПН / POD	ЧПД / PPD	ПУ / П	ПН / POD	ПУ / П	ПН / POD	ЧПД / PPD	НН / NOD	ПУ / П	ЧНД / PND	НН / NOD
ПН / POD	16.7	16.7	50.0	16.7	83.3	16.7	0.00	100.0	0.00	83.3	0.00	16.7	33.3	0.00	66.7
ЧПД / PPD	0.00	10.0	90.0	0.00	80.0	10.0	10.0	100.0	0.00	80.0	20.0	0.00	10.0	30.0	60.0
ПУ / П	0.00	0.00	50.0	50.0	100.0	0.00	0.00	100.0	0.00	50.0	50.0	0.00	50.0	0.00	50.0
ЧНД / PND	0.00	0.00	100.0	0.00	100.0	0.00	0.00	100.0	0.00	100.0	0.00	0.00	0.00	100.0	0.00
НН / NOD	0.00	66.7	33.3	0.00	100.0	0.00	0.00	0.00	100.0	100.0	0.00	0.00	0.00	66.7	33.3

Таблиця 5. Кількість гібридних комбінацій за типом успадкування ознак, %, 2024 рік**Table 5.** Number of hybrid combinations by trait inheritance type, %, 2024

Ступені домінування стійкості до вовчка / Dominance degree for broomrape resistance	Вміст олеїнової кислоти в олії / Oleic acid content in the oil		Урожайність насіння / Seed yield	Маса 1000 насінин / 1000-seed weight			Вміст олії в насінні / Seed oil content					ТПСПС / EFMP				
	ЧПД / PPD	ПУ / П	ПН / POD	ПН / POD	ЧПД / PPD	ПУ / П	ПН / POD	ЧПД / PPD	ПУ / П	ЧНД	НН / NOD	ПН / POD	ЧПД / PPD	ПУ / П	ЧНД	НН / NOD
ПН / POD	33.3	66.7	100.0	100.0	0.00	0.00	33.3	16.7	33.3	0.00	16.7	0.00	16.7	50.0	16.7	16.7
ЧПД / PPD	0.00	100.0	100.0	30.0	50.0	20.0	30.0	20.0	30.0	20.0	0.00	60.0	20.0	10.0	0.00	10.0
ПУ / П	50.0	50.0	100.0	100.0	0.00	0.00	0.00	50.0	0.00	0.00	50.0	0.00	0.00	0.00	50.0	50.0
ЧНД / PND	0.00	100.0	100.0	0.00	100.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.0	0.00	0.00	100.0	0.00	0.00
НН / NOD	66.7	33.3	100.0	66.7	33.3	0.00	100.0	0.00	0.00	0.00	0.00	33.3	0.00	66.7	0.00	0.00

В умовах 2023 року встановлено успадкування вмісту олії також за типами часткового позитивного домінування і негативного наддомінування.

За успадкування стійкості до вовчка за типом позитивного наддомінування, 83,3% гібридних комбінацій виявили позитивне наддомінування вмісту олії в насінні, а 16,7% проявили навпаки негативне наддомінування ознаки. За успадкування стійкості до вовчка за типом часткового позитивного домінування, 80,0% гібридних комбінацій мали позитивне наддомінування вмісту олії в насінні, в той час як 20,0% мали часткове позитивне домінування ознаки.

Для ТПСПС кращим показником вважали менший прояв ознаки, тобто ранньостиглість. В умовах 2023 року установлені три типи успадкування ТПСПС: проміжне успадкування, часткове негативне домінування і негативне наддомінування пізньостиглості, які виявлені всередині практично всіх груп, сформованих за типом успадкування стійкості до вовчка. Переважала кількість гібридних комбінацій з успадкуванням ТПСПС за типом негативного наддомінування (від 0,00 до 66,7%), тобто тривалість їх вегетаційного періоду була більшою, ніж тривалість вегетаційного періоду більш пізньої батьківської лінії. Для гібридних комбінацій найбільш цікавих за типом успадкування стійкості до вовчка груп (позитивного наддомінування і часткового позитивного домінування), успадкування за типом негативного наддомінування пізньостиглості виявлено у 66,7 і 60,0% гібридних комбінацій. Ці дві групи включали також комбінації з проміжним успадкуванням ТПСПС (33,3 і 10,0%). У групі з частковим позитивним домінуванням стійкості до вовчка присутні 30,0% комбінацій з частковим негативним домінуванням пізньостиглості.

Разом із тим встановлено, що успадкування тривалості вегетаційного періоду часто відбувалося за типом негативного наддомінування, що призвело до подовження періоду вегетації. Це може бути обмежувальним фактором при створенні ранньостиглих гібридів і потребує додаткового селекційного контролю.

В умовах 2024 року встановлено успадкування вмісту олеїнової кислоти за типами часткового позитивного домінування і проміжного успадкування. За успадкування стійкості до вовчка за типом позитивного наддомінування, 33,3% гібридних комбінацій мали позитивне наддомінування вмісту олеїнової кислоти в олії, в той час як у решти 66,7% спостерігали проміжне успадкування ознаки. За

In 2023, oil content was also inherited by partial positive dominance and negative overdominance.

In the group of inheritance of broomrape resistance by positive overdominance, 83.3% of hybrid combinations exhibited positive overdominance for seed oil content, while 16.7%, conversely, showed negative overdominance for the trait. In the group of partial positive dominance for broomrape resistance, 80.0% of hybrid combinations exhibited positive overdominance for seed oil content, while 20.0% showed partial positive dominance.

As to EFMP, a weaker expression of the trait (early maturity) was preferable. In 2023, three types of EFMP inheritance were recorded: intermediate inheritance, partial negative dominance, and negative overdominance of late maturity; these types were identified within almost all groups formed by the type of broomrape resistance inheritance. The majority of hybrid combinations inherited EFMP by negative overdominance (from 0.00 to 66.7%), i.e. their growing seasons were longer than that of the later-ripening parental line. In the hybrids of the most interesting groups in terms of broomrape resistance inheritance (positive overdominance and partial positive dominance), late maturity was inherited by negative overdominance in 66.7% and 60.0% of combinations, respectively. These two groups also included hybrids with intermediate EFMP inheritance (33.3% and 10.0%). In the group of partial positive dominance for broomrape resistance, 30.0% of combinations exhibited partial negative dominance of late maturity.

At the same time, it was found that growing season length was often inherited by negative overdominance, leading to an extension of the vegetation period. This may be a limiting factor in creating early-ripening hybrids and requires additional breeding control.

In 2024, oleic acid content was inherited by partial positive dominance and intermediate inheritance. In the group of broomrape resistance inheritance by positive overdominance, 33.3% of hybrids exhibited positive overdominance for oleic acid content in the oil, while the remaining 66.7% showed intermediate inheritance. In the group of partial positive dominance for

типом часткового позитивного домінування стійкості до вовчка всі гібридні комбінації виявили проміжне успадкування вмісту олеїнової кислоти в олії.

У цьому ж році встановлено успадкування високої врожайності насіння за типом позитивного наддомінування. Гібридні комбінації всіх типів успадкування стійкості до вовчка показали 100% позитивного наддомінування врожайності насіння.

Також у 2024 році встановлено успадкування маси 1000 насінин за типами позитивного наддомінування, часткового позитивного домінування і проміжного успадкування. За успадкування стійкості до вовчка за типом позитивного наддомінування, 100,0 % гібридних комбінацій виявили позитивне наддомінування маси 1000 насінин. За успадкування стійкості до вовчка за типом часткового позитивного домінування у 30,0 % гібридних комбінацій спостерігали позитивне наддомінування маси 1000 насінин, у 50,0% – часткове позитивне домінування, а у 20,0% – проміжне успадкування ознаки.

В умовах 2024 року встановлено успадкування вмісту олії в насінні за типами позитивного наддомінування, часткового позитивного домінування, проміжного успадкування, часткового негативного домінування і негативного наддомінування. За успадкування стійкості до вовчка за типом позитивного наддомінування, у 33,3% гібридних комбінацій спостерігали позитивне наддомінування вмісту олії в насінні, в той час як 16,7% мали часткове позитивне домінування ознаки, 33,3% виявляли проміжне успадкування, а 16,7% - негативне наддомінування ознаки вмісту олії в насінні. За типом часткового позитивного домінування стійкості до вовчка у 30,0% гібридних комбінацій спостерігали позитивне наддомінування ознаки вмісту олії в насінні, у 20,0% – часткове позитивне домінування ознаки, у 30,0% – проміжне успадкування і у 20,0% – часткове негативне домінування.

Також за умов 2024 року встановлені п'ять типів успадкування ТПСФС. Гібридні комбінації групи позитивного наддомінування стійкості до вовчка показали 16,7% часткового позитивного домінування, 50,0% проміжного успадкування, 16,7% часткового негативного домінування і 16,7% негативного наддомінування ТПСФС. Серед гібридних комбінацій з частковим позитивним домінуванням стійкості до вовчка 60,0% мали позитивне наддомінування ТПСФС, 20,0% – часткове позитивне домінування, 10,0% – проміжне успадкування і 10,0% – негативне наддомінування ТПСФС.

broomrape resistance, all hybrid combinations exhibited intermediate inheritance for oleic acid content in the oil.

In the same year, high seed yield was inherited by positive overdominance. Hybrid combinations across all categories of broomrape resistance inheritance exhibited 100% positive overdominance for seed yield.

Also, in 2024, thousand-seed weight was inherited by positive overdominance, partial positive dominance, and intermediate inheritance. In the group of broomrape resistance inheritance by positive overdominance, 100.0% of hybrids exhibited positive overdominance for thousand-seed weight. In the group of broomrape resistance inheritance by partial positive dominance, 30.0% of hybrids showed positive overdominance for thousand-seed weight, 50.0% showed partial positive dominance, and 20.0% showed intermediate inheritance.

In 2024, seed oil content was inherited by positive overdominance, partial positive dominance, intermediate inheritance, partial negative dominance, and negative overdominance. In the group of broomrape resistance inheritance by positive overdominance, 33.3% of hybrids exhibited positive overdominance for seed oil content, while 16.7% showed partial positive dominance, 33.3% □ intermediate inheritance, and 16.7% □ negative overdominance for seed oil content. In the group of partial positive dominance for broomrape resistance, 30.0% of hybrid combinations showed positive overdominance for seed oil content, 20.0% – partial positive dominance, 30.0% – intermediate inheritance, and 20.0% – partial negative dominance.

In 2024, five types of EFMP inheritance were detected. 16.7% of hybrid combinations in the group of positive overdominance for broomrape resistance showed partial positive dominance, 50.0% – intermediate inheritance, 16.7% – partial negative dominance, and 16.7% – negative overdominance for EFMP. Among hybrids with partial positive dominance for broomrape resistance, 60.0% exhibited positive overdominance for EFMP, 20.0% showed partial positive dominance, 10.0% – intermediate inheritance, and 10.0% – negative overdominance.

Analysis of the phenotypic dominance degree demonstrated that positive

Аналіз ступеня фенотипового домінування показав, що для більшості цінних господарських ознак характерним є позитивне наддомінування або часткове позитивне домінування, особливо щодо врожайності насіння та маси 1000 насінин. Це вказує на значний потенціал прояву ефекту гетерозису в досліджених гібридних комбінаціях і підтверджує доцільність використання гібридизації як провідного методу селекції соняшнику. У цілому результати досліджень свідчать про можливість ефективного поєднання в одному генотипі високого вмісту олеїнової кислоти, продуктивності та стійкості до вовчка. Однак реалізація цього потенціалу залежить від правильного добору батьківських компонентів.

Висновки

Установлено, що вміст олеїнової кислоти в олії насіння досліджених гібридів соняшнику має генетичну зумовленість і характеризується відносною стабільністю за роками досліджень, з незначною залежністю від погодних умов. Виділено лінії Сх 83 А та IU 075138 як джерела високого вмісту олеїнової кислоти (понад 85%), а також лінії IU 075136 та IU 075137 – із середнім рівнем цієї ознаки, які також можуть бути використані в селекційних програмах для створення гібридів соняшнику з покращеним жирнокислотним складом олії.

Виділено лінію Сх 83 А з донорськими властивостями за високим вмістом олеїнової кислоти в олії, яка забезпечує формування гібридів із підвищеним вмістом олеїнової кислоти в олії незалежно від генотипу батьківського компонента.

Встановлено, що успадкування цінних господарських ознак (урожайність насіння, маса 1000 насінин, вміст олії в насінні) відбувається переважно за типом позитивного наддомінування, що свідчить про високий рівень гетерозисного ефекту. Встановлено значну варіабельність типів успадкування стійкості до вовчка – від проміжного успадкування до наддомінування, що вказує на складну генетичну природу ознаки. Успадкування тривалості періоду «сходи–повна стиглість» може відбуватися за типом негативного наддомінування, що призводить до подовження тривалості вегетційного періоду та потребує врахування в селекційній роботі.

Виділено найбільш перспективні гібридні комбінації соняшнику, які поєднують кілька цінних господарських ознак: Сх 83 А × IU 075138 (вміст олеїнової кислоти в олії 86,5–

overdominance or partial positive dominance is intrinsic to most valuable economic traits, particularly seed yield and thousand-seed weight. This indicates a significant potential for heterosis manifestation in the studied hybrid combinations and confirms the expediency of using hybridization as the leading method in sunflower breeding. Overall, our findings support a possibility of effectively combining high oleic acid content, performance, and broomrape resistance within a single genotype. However, the realization of this potential depends on the proper selection of parental components.

Conclusions

It was found that oleic acid content in the seed oil of the studied sunflower hybrids is genetically determined and relatively stable across the study years, with minor dependence on weather conditions. 'Skh 83 A' and 'IU 075138' were identified as sources of high oleic acid content (over 85%), while 'IU 075136' and 'IU 075137' – as sources of a medium level of this trait; these can also be used in breeding programs to create sunflower hybrids with improved fatty acid composition.

'Skh 83 A' was distinguished due to its donor properties regarding high oleic acid content, as it produces hybrids with increased oleic acid content regardless of the genotype of the paternal component.

It was revealed that valuable economic traits (seed yield, thousand-seed weight, and seed oil content) are inherited mainly by positive overdominance, indicating a strong heterosis effect. Significant variability in the types of broomrape resistance inheritance—ranging from intermediate inheritance to overdominance—was observed, indicating the complex genetic nature of the trait. The "emergence – full maturity" period can be inherited by negative overdominance, leading to extended growing seasons, which must be taken into account in breeding practice.

The most promising sunflower hybrids that combine several valuable economic traits were identified: 'Skh 83 A × IU 075138' (the oleic acid content in the oil is 86.5–86.9%; the broomrape infection intensity is 0.00–0.23 tubercles/plant), 'Skh 83 A × IU 075137' (the oleic acid content is 71.9–77.8%; the broomrape infection intensity is 0.00 tubercles/plant), 'Skh 83 A × KhZU 22 V' (the EFMP is 103–104 days; the oleic acid content

86,9%, ступінь ураження вовчком 0,00–0,23 шт.), Сх 83 А × ІУ 075137 (вміст олеїнової кислоти 71,9–77,8%, ступінь ураження вовчком 0,00 шт.), Сх 83 А × ХЗУ 22 В (ТПСПС 103–104 доби, вміст олеїнової кислоти 68,0–69,1%, урожайність насіння 2,19–2,23 т/га), та Сх 83 А × ХЗУ 10 В (вміст олеїнової кислоти 69,8–70,4%, ТПСПС 105–106 діб). Найбільш перспективною є гібридна комбінація Сх 83 А × ІУ 075138, яка поєднує високий вміст олеїнової кислоти та стійкість до вовчка, що робить її цінним матеріалом для подальшого використання.

Заява про доступність даних: Дані включені безпосередньо в статтю.

Використання штучного інтелекту (ШІ): при написанні статті штучний інтелект не використовували.

Відповідність етичним стандартам: Стаття не містить будь-яких досліджень з використанням людей і тварин як об'єктів.

Конфлікт інтересів: Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Фінансування: Дослідження виконувалося за програмою наукових досліджень ПНД 16 Національної академії аграрних наук України «Соняшник: основи управління продукційним процесом», завдання 16.00.00.01.Ф «Розроблення теоретичних основ використання ефекту гетерозису в F1 гібридів соняшнику, адаптованих до змін клімату, створених на основі різних зародкових плазм, з поліпшеними комбінаціями цінних господарських ознак» (№ держреєстрації 0121U100556)

is 68.0–69.1%; the seed yield is 2.19–2.23 t/ha, and 'Skh 83 A × KhZU 10 V' (the oleic acid content is 69.8–70.4%; the EFMP is 105–106 days). 'Skh 83 A × IU 075138' is the most promising hybrid, as it combines high oleic acid content and broomrape resistance, making it valuable material for further use.

Data Availability Statement: The data are included in the article.

Use of Artificial Intelligence (AI): No artificial intelligence was used in the writing of this article.

Compliance with Ethical Standards: This article does not contain any studies involving humans or animals as subjects.

Conflict of Interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Funding: The study was carried out within the scientific research program 16 of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine "Sunflower: Foundations of Production Process Management," project 16.00.00.01.F "Development of Theoretical Foundations for Using Heterosis in F1 Sunflower Hybrids Adapted to Climate Change, Originated from Various Germplasms, with Improved Combinations of Valuable Economic Traits" (state registration No. 0121U100556).

References

- Akkaya, M., Çil, A., Çil, A. N., Yücel, H., & Kola, O. (2018). The influence of sowing dates on the oil content and fatty acid composition of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Food Science and Technology*, 39(3–4). <https://doi.org/10.1590/fst.20118>
- Alberio, C., Aguirrezábal, L., Izquierdo, N., Reid, R., Zuil, S., & Zambelli, A. (2018). Effect of genetic background on the stability of sunflower fatty acid composition in different high oleic mutations. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98, 4074–4086. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8924>
- Alberio, C., Izquierdo, N., Galella, T., Zuil, S., Reid, R., Zambelli, A., & Aguirrezábal, L. A. N. (2015). A new sunflower high oleic mutation confers stable oil grain fatty acid composition across environments. *European Journal of Agronomy*, 73, 25–33. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.10.003>
- Aşkın, B., & Kaya, Y. (2020). Effect of deep frying process on the quality of sunflower seed oil and olive oil. *Journal of Food Science and Technology*, 57(12), 4716–4725. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04655-4>
- Beil, G. M., & Atkins, R. E. (1965). Inheritance of quantitative characters in grain sorghum. *Iowa State Journal*, 39(3), 345–348.
- Griffing, B. (1950). Analysis of quantitative gene action. *Genetics*, 35(3), 303–321. <https://doi.org/10.1093/genetics/35.3.303>

- Kurylych, D. V., & Makliak, K. M. (2024). Expression of valuable economic traits in F1 sunflower hybrids resistant to broomrape (*Orobanche cumana* Wallr.). *Naukovo-Tekhnichniy Biuletyn Instytutu Oliynykh Kultur NAAN*, 37, 53–65. <https://doi.org/10.36710/IOC-2024-37-06> [in Ukrainian]
- Kyrychenko, V. V., Humeniuk, A. D., & Dolhova, E. M. (1987). Breeding sunflower for resistance to broomrape. *Selektsiia i Semenovodstvo*, 63, 44–46. [in Russian]
- Kyrychenko, V. V., Makliak, K. M., Syvenko, V. I., Brahin, O. M., & Suprun, O. H. (2004). Improvement of fatty acid composition of sunflower oil. *Selektsiia i Nasinnytstvo*, 88, 3–9. [in Ukrainian]
- Kyrychenko, V. V., Syvenko, V. I., Litun, P. P., Tymchuk, S. M., & Suprun, O. H. (2000). Variability of unsaturated fatty acid content. *Selektsiia i Nasinnytstvo*, 84, 77–83. [in Ukrainian]
- Kyrychenko, V. V., Tymchuk, S. M., Syvenko, V. I., & Suprun, O. H. (2011). Breeding of high-oleic sunflower hybrids. *Visnyk TsNZ APV Kharkivskoi Oblasti*, 10, 105–117. [in Ukrainian]
- Makliak, K. M., Varenyk, B. F., & Kutishcheva, N. M. (2014). Peculiarities of variability of fatty acid composition of sunflower hybrid oil depending on air temperature. *Visnyk TsNZ APV Kharkivskoi Oblasti*, 17, 129–138. [in Ukrainian]
- Prokhorova, M. I. (1982). *Methods of biochemical research*. Khimiya. [in Russian]
- Rauf, S., Jamil, N., Ali Tariq, S., Khan, M., Kausar, M., & Kaya, Y. (2017). Progress in modification of sunflower oil to expand its industrial value. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97, 1997–2006. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8214>
- Rozhkov, A. O., Puzik, V. K., Kalenska, S. M., Puzik, L. M., Popov, S. I., Muzafarov, N. M., Bukhalo, V. Ya., & Kryshtop, Ye. A. (2016). *Experimentation in agronomy: Guidebook* (Book 2: Statistical processing of agronomic data). Kyiv. <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/33533> [in Ukrainian]
- Shevchenko, S., Desyatnyk, L., Shevchenko, M., Kolesnykova, K., & Derevenets-Shevchenko, K. (2024). Control of weeds and sunflower broomrape (*Orobanche cumana* Wallr.) in sunflower crops by crop rotation and tillage. *International Journal of Environmental Studies*, 81(1), 382–392. <https://doi.org/10.1080/00207233.2024.2320031>
- Sydiakhina, O. V., & Hamaiunova, V. V. (2023). Current state and prospects of sunflower seed production. *Tavriiskiyi Naukoviyi Visnyk*, 131, 196–204. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.131.25> [in Ukrainian]
- Velasco, L., Pérez-Vich, B., Yassein, A., Jan, C., & Fernández-Martínez, J. M. (2012). Inheritance of resistance to sunflower broomrape (*Orobanche cumana* Wallr.) in an interspecific cross. *Plant Breeding*, 131(1), 220–221. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2011.01915>
- Yurkevych, Ye. O., Valentiuk, N. O., Kohut, I. M., & Yevych, V. S. (2022). High-oleic sunflower as an innovative path for the development of organic agriculture. *Tavriiskiyi Naukoviyi Visnyk*, 125, 104–110. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.125.15> [in Ukrainian]