

УДК 633.854.78:631.527.53

О.А. Добренський*, С.В. Авраменко

Урожайність гібридів соняшнику залежно від доз страхових гербіцидів в умовах Степу України

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

*E-mail: oleksandr.dobrenkyi@gmail.com

UDC: 633.854.78:631.527.53

O.A. Dobrenkyi*, S.V. Avramenko

Yield of sunflower hybrids depending on doses of insurance herbicides in the Steppe of Ukraine

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

*E-mail: oleksandr.dobrenkyi@gmail.com

Реферат: Кількісно оцінено вплив різних норм післясходових гербіцидів на формування урожайності гібридів соняшнику Неома (технологія Clearfield) та Білоба (технологія Clearfield Plus) в умовах посушливого Степу України. Польові дослідження проведено протягом 2022–2024 рр. на дослідному полі ДУ «Інститут зернових культур» НААН (с. Василівка, Дніпропетровська обл.) за схемою розщеплених ділянок. Варіанти включали контроль (механічна прополка) та післясходове застосування гербіцидів Геліантекс (0,045–0,090 л/га) і Пульсар Флекс (1,6–3,2 л/га). Результати показали чітку залежність урожайності від генетичних особливостей гібридів та дози гербіцидів. Надмірна доза Геліантексу (0,090 л/га) спричинила вірогідне зниження урожайності на 31–38 %, що супроводжувалося зменшенням маси 1000 насінин, натури та вмісту олії — ознак, які відображають уповільнення процесів наливу під дією фітотоксичного стресу. Натомість застосування Пульсар Флекс у дозі 1,6 л/га забезпечило найвищу урожайність (до +5 % порівняно з контролем для гібрида Білоба) без проявів пригнічення, що вказує на оптимальну селективність препарату. Підвищення дози Пульсар Флекс до 2,4–3,2 л/га призводило до часткового пригнічення формування насіння та зниження урожайності на 6–9%. Кореляційно-регресійний аналіз показав, що головним чинником варіації урожайності була маса 1000 насінин ($r = 0,82–0,88$; $p < 0,01$), тоді як вміст олії мав середній позитивний зв'язок ($r = 0,48–0,61$). Коефіцієнт детермінації ($R^2 = 0,58–0,66$) засвідчив, що понад 60% змін урожайності пояснюються гербіцидно зумовленими відмінностями у процесах наливу насіння. Це свідчить, що зниження продуктивності відбувається переважно через порушення формування насіння. Рекомендовано застосування Пульсар Флекс у дозі 1,6 л/га як селективної та безпечної для гібридів Неома і Білоба. Застосування Геліантекс 0,090 л/га є недоцільним через високий ризик фітотоксичної дії та зниження урожайності.

Ключові слова: соняшник; післясходові гербіциди; урожайність; маса 1000 насінин; вміст олії; селективність; фітотоксичність; технологія Clearfield; Степ України.

Abstract: The study was aimed to quantify how varying doses of post-emergence herbicides affect the yields sunflower hybrids ‘Neoma’ (Clearfield) and ‘Biloba CLP’ (Clearfield Plus) under arid conditions in the Steppe of Ukraine. The field experiments had a split-plot design and were conducted in the experimental field of the State Institution “Institute of Grain Crops” of NAAS (Vasylivka, Dnipropetrovsk Oblast) in 2022–2024. The treatments included a control (mechanical weeding) and post-emergence applications of Heliantex (0.045–0.090 L/ha) and Pulsar Flex (1.6–3.2 L/ha). The yield clearly depended on herbicide dose and hybrid. The excessive Heliantex dose (0.090 L/ha) caused a sharp yield reduction of 31–38 % associated with decreased thousand-kernel weight (TKW), test weight, and oil content, indicating delayed seed filling under phytotoxic stress. In contrast, Pulsar Flex 1.6 L/ha maintained or slightly increased

yield (+5 % for hyb. 'Biloba CLP') without visible phytotoxicity, demonstrating its selective tolerance threshold. Higher Pulsar Flex doses (2.4–3.2 L/ha) led to partial seed filling inhibition and a moderate yield decline (6–9 %), confirming the importance of adherence to the recommended dose. Correlation and regression analyses identified TKW as the dominant yield determinant ($r = 0.82\text{--}0.88$; $p < 0.01$), while oil content showed a moderate relationship ($r = 0.48\text{--}0.61$). Coefficient of determination ($R^2 = 0.58\text{--}0.66$) confirmed that herbicide-induced variation in TKW accounted for more than 60 % of total yield fluctuations. These findings clarify the physiological mechanism of yield loss through seed-filling disruption rather than plant density or head number changes. The study justified a data-driven recommendation to apply Pulsar Flex at 1.6 L/ha as a safe, selective rate, while avoiding Heliantex 0.090 L/ha due to high phytotoxicity risk and yield reduction.

Key words: sunflower, post-emergence herbicides, herbicide tolerance, yield, thousand-kernel weight, oil content, selectivity, phytotoxicity, Clearfield, Clearfield Plus, Ukrainian Steppe.

Вступ

Соняшник (*Helianthus annuus* L.) є стратегічною олійною культурою України, формуючи вагому частку національного експорту олій і впливаючи на продовольчу безпеку та торговий баланс [1]. У глобальній системі рослинних олій соняшник посідає помітне місце завдяки специфіці хімічного складу олії та технологічній пластичності культури, але водночас стикається з викликами конкуренції та волатильності ринків [2]. Поглиблення вимог до харчової якості й сталості виробництва, зокрема інтерес до високо-стеаринових профілів як альтернативи пальмовій олії, підсилює потребу в стабільній і безпечній технології вирощування, що не знижує урожайність та якість [3]. Поряд із регуляторами росту, здатними модулювати процес виробництва соняшнику, ключову роль відіграє інтегрований захист від бур'янів як визначальний фактор конкурентоспроможності посівів [4].

За даними міжнародної статистики, площі та валові збори соняшнику залишаються високими, однак продуктивність вірогідно варіює між роками і регіонами, що особливо актуально для зони Степу з нестабільним та недостатнім зволоженням [5]. Селекційний прогрес від ринково-асоційованої селекції до елементів геномного добору дозволив створити широкий спектр гібридів, у т.ч. з відмінною реакцією на різні продукти системи гербіцидного контролю [6]. Залучення батьківських матеріалів з дикорослих популяцій як джерела адаптивних і стійкісних ознак розширило генетичну базу, проте реакції гібридів на гербіциди залишаються генотип-специфічними [7]. Вітчизняні офіційні дані про стан аграрного виробництва підтверджують значущість культури й потребу підвищення ефективності технологічних рішень на рівні

Introduction

Sunflower (*Helianthus annuus* L.) is a strategic oilseed crop of Ukraine, forming a significant share of national oil exports and affecting food security and trade balance [1]. In the global vegetable oil system, sunflower occupies a prominent place due to specific chemical composition of its oil and technological plasticity of the crop, but at the same time it faces competition and market volatility challenges [2]. Stiffening of requirements for food quality and production sustainability, in particular the interest in high-stearin profiles as an alternative to palm oil, increases the need for stable and safe cultivation technologies that do not reduce yield and quality [3]. Along with growth regulators capable of modulating the sunflower production, integrated weed control plays a key role as a determining factor in the crop competitiveness [4].

According to international statistics, the sunflower acreage and gross yield remain big, but productivity significantly varies between years and regions, which is especially relevant for the steppe zone with unstable and insufficient wetting [5]. Breeding progress from market-driven breeding to elements of genomic selection has enabled developing a broad assortment of hybrids, including those with excellent responses to different herbicides [6]. The use of parental forms from wild populations as sources of adaptability and resistance has expanded the genetic base, but hybrids' responses to herbicides remain genotype-specific [7]. Domestic official data on the agricultural production confirm the crop's importance and the need to increase the efficiency of technological solutions at the farm level [8], while the State Register of

господарств [8], тоді як Державний реєстр сортів окреслює легальне поле застосування гібридів і технологій у виробництві [9].

Світова практика підтверджує, що реакція соняшнику на страхові гербіциди є генотип-специфічною і залежить від норми внесення, погодних умов та типу діючої речовини. За результатами досліджень Gürküz та ін. [10], підвищення доз післясходових гербіцидів у посівах соняшнику призводило до зменшення маси 1000 насінин і зниження урожайності на 12–18%, особливо в умовах дефіциту вологи. Подібні результати отримали Serim, Yilmaz і Altan [11], які зазначили, що навіть низькі «зносіві» дози окремих гербіцидів можуть спричиняти симптоми фітотоксичності — побуріння країв листків, зменшення фотосинтетичної активності та гальмування росту. Дослідження Антипової і Чорного [12] у південному Степу України також показали, що перевищення рекомендованих норм страхових гербіцидів супроводжується зниженням урожайності на 0,3–0,6 т/га порівняно з контролем. Таким чином, у світовій практиці зберігається актуальність проблеми оптимізації норм післясходових гербіцидів з урахуванням генетичних особливостей гібридів соняшнику.

З експериментального погляду, коректність порівняння технологічних варіантів (у т.ч. «контроль—механічна прополка» проти різних норм внесення гербіцидів) спирається на стандартизовані методики державного випробування сортів, що регламентують обліки, оцінку урожайності та інтерпретацію результатів [14]. Для виявлення вірогідних відмінностей між факторами «гербіцид—норма внесення—генотип—рік» залучаються генетико-статистичні підходи, дисперсійний та кореляційний аналізи, що забезпечують надійність висновків [15], а також спеціалізоване програмне забезпечення для обробки біометричних даних [16]. Сучасні уявлення про генетику соняшнику дозволяють пояснювати складні, часто полігенні, реакції на стреси і технологічні навантаження. Наприклад, полігенна природа окремих морфологічних ознак демонструє, наскільки чутливими можуть бути продукційні реакції до зміни регламентів застосування засобів захисту рослин [17], а класичні роботи зі спадковості кількісних ознак створюють теоретичну основу для інтерпретації змін урожайності під впливом гербіцидів [18].

На цьому тлі науково-практична проблема оптимізації гербіцидного захисту в посівах соняшнику залишається актуальною [19].

Varieties outlines the legal field of application of hybrids and technologies in production [9].

World practice confirms that sunflower's response to post-emergence herbicides is genotype-specific and depends on doses, weather and active ingredients. Gürküz et al. [10] showed that increased doses of post-emergence herbicides in sunflower fields reduced thousand-kernel weight (TKW) and yield by 12–18%, especially under water deficit. Similar results were obtained by Serim, Yilmaz and Altan [11], who noted that even low doses of some herbicides can be phytotoxic, causing such symptoms as browning of leaf edges, reduced photosynthetic activity and growth inhibition. A study by Antypova and Chornyi [12] in the southern steppe of Ukraine also demonstrated that exceeding the recommended doses of post-emergence herbicides was associated with a decrease in yield by 0.3–0.6 t/ha compared to the control. Thus, in world practice, the problem of optimizing post-emergence herbicide doses, with due account for genetic characteristics of sunflower hybrids, remains relevant.

From an experimental point of view, the correctness of comparing technological options (including “control—mechanical weeding” versus different herbicide doses) is based on standardized methods of state variety trials that regulate records, yield assessment and interpretation of results [14]. To determine significant differences between the factors “herbicide—dose—genotype—year,” genetic and statistical approaches, i.e. analysis of variance (ANOVA) and correlation analyses, which ensure reliable conclusions [15], as well as specialized software for processing biometric data [16], are used. Current ideas about sunflower genetics allow for explanation of complex, often polygenic, reactions to stresses and technological loads. For example, the polygenic nature of some morphological traits demonstrates how sensitive production responses can be to changes in the regulations for application of plant protectors [17], and classical studies on the inheritance of quantitative traits create a theoretical basis for interpreting changes in yield under the influence of herbicides [18].

In this context, the scientific and practical problem of optimizing herbicide protection in sunflower fields remains relevant [19]. It is necessary to combine effective weed

Потрібно поєднати ефективний контроль бур'янів із селективністю щодо культури, мінімізувавши ризик фітотоксичності та втрат урожайності [20, 21]. Саме тому, метою дослідної роботи було кількісно оцінити вплив різних норм страхових гербіцидів на урожайність гібридів Неома та Білоба у трирічному (2022–2024 рр.) польовому експерименті степової зони, із застосуванням статистично вивірених підходів до аналізу багатофакторної взаємодії «гербіцид—норма внесення—генотип—рік». Результати покликані уточнити селективні «вікна» доз і надати практичні рекомендації для виробництва з урахуванням генетичної специфіки гібридів і кліматичних особливостей регіону.

Методика

Польові дослідження були закладені протягом 2022–2024 рр. на дослідному полі ДУ Інститут зернових культур НААН України (с. Василівка Дніпропетровської області, координати дослідного поля 48.2769004, 34.9405689). Досліди закладали як багатофакторні за схемою розщеплених ділянок із трьома повтореннями відповідно до чинних методичних підходів державних випробувань та польового експерименту [15]. Облікова площа ділянки останнього порядку становила 60 м². Тип ґрунту – чорнозем звичайний середньогумусний (вміст гумусу 5,5–6,2%), рН ґрунтового розчину – 7,5. Попередник пшениця озима. Безпосередньо перед сівбою перевіряли якість розпушування, однорідність вологості посівного горизонту та температуру ґрунту, яка становила 9–10°C. Сівбу проводили у другій декаді квітня. Система удобрення: передпосівне внесення: N60P30K30; позакореневе підживлення: карбамід із полімером (10 кг/га у фазі V3–V6), схема посіву 70×25 см. У досліді використовували два сучасні гібриди соняшнику різних селекційних напрямів. Неома — середньостиглий гібрид Clearfield-технології з вегетаційним періодом 110–115 діб, характеризується стабільною урожайністю, високою олійністю (48–50%) та стійкістю до вовчка рас А–Е. Білоба — середньоранній гібрид системи Clearfield Plus із вегетаційним періодом 106–110 діб, відзначається підвищеною посухостійкістю, толерантністю до хвороб кошика та листків, а також доброю реакцією на покращене мінеральне живлення. Обидва гібриди адаптовані до умов Степу України й рекомендовані для інтенсивних технологій вирощування (табл. 1).

control with selectivity for the crop, minimizing the risks of phytotoxicity and yield losses [20, 21]. Hence, we set a goal to quantify the impact of various doses of insurance herbicides on the yields of hybs. ‘Neoma’ and ‘Biloba CLP’ in a three-year (2022–2024) field experiment in the steppe zone, using statistically verified approaches to analysis of the multifactorial “herbicide—dose—genotype—year” interactions. Results were intended to clarify selective dose "windows" and justify practical recommendations for production, taking into account the genetic specificity of hybrids and the climatic peculiarities of the region.

Methods

The field experiments were conducted in the experimental field (coordinates of the experimental field 48.2769004, 34.9405689) of the State Institution “Institute of Grain Crops” of NAAS (Vasylivka, Dnipropetrovska Oblast) in 2022–2024. The experiments had a multifactorial split-plot design and were carried out in three replications in accordance with the current methodological guidelines for state trials and field experiments [15]. The marginal plants in the plots were removed to avoid the edge effect, and the record area was 60 m². The soil was typical medium-humus chernozem (humus content 5.5–6.2%); pH of the soil solution was 7.5. Winter wheat was the forecrop. Immediately before sowing, the quality of tillage, uniformity of the moisture content in the seeding layer and the soil temperature, which was 9–10°C, were checked. The hybrids were sown within the second 10 days of April. Fertilization was as follows: pre-sowing application of N60P30K30 and foliar application of urea with polymer (10 kg/ha in the V3–V6 phase). The sowing arrangement was 70×25 cm. Two modern sunflower hybrids of different breeding directions were used in the experiments. ‘Neoma’ is a medium-early Clearfield hybrid with a growing period of 110–115 days, characterized by stable yield, high oil content (48–50%) and resistance to broomrape races А–Е. ‘Biloba CLP’ is a medium-early Clearfield Plus hybrid with a growing period of 106–110 days, characterized by increased drought tolerance, resistance to head and leaf diseases and a good response to improved mineral nutrition. Both hybrids are adapted to the Steppe of Ukraine and are recommended for intensive cultivation technologies (Table 1).

Таблиця 1. Схема досліджень
Table 1. Experimental design

Гербіцид / Herbicide	Норма внесення, л/га / Dose, L/ha	Гібрид / Hybrid
Контроль (механічна прополка) / Control (mechanical weeding)	—	Неома / Neoma
		Білоба / Biloba CLP
Геліантекс / Heliantex	0.045	Неома / Neoma
		Білоба / Biloba CLP
	0.065	Неома / Neoma
		Білоба / Biloba CLP
	0.090	Неома / Neoma
		Білоба / Biloba CLP
Пульсар Флекс / Pulsar Flex	1.6	Неома / Neoma
		Білоба / Biloba CLP
	2.4	Неома / Neoma
		Білоба / Biloba CLP
	3.2	Неома / Neoma
		Білоба / Biloba CLP

Гербіциди вносили згідно з рекомендаціями компаній-виробників спеціалізованим дослідним обприскувачем із каліброваними форсунками, що забезпечували норму робочої рідини 200 л/га. Через 7 та 14 днів після внесення гербіцидів проводили візуальну оцінку стану рослин для контролю можливих проявів фітотоксичності. Кількісні параметри толерантності не визначали, оскільки основним завданням було оцінити вплив гербіцидів на кінцеву урожайність гібридів.

Вміст вологи в насінні, масу зерна з ділянки, урожайність з гектара визначали за стандартними методиками. Відбір проб насінневої суміші здійснювали за ДСТУ 4601:2006 «Насіння олійних культур. Методи відбирання проб», облік урожаю—згідно з ДСТУ 3355-96 «Продукція сільськогосподарська рослинна»; урожайність обчислювали з урахуванням вологості насіння 7%.

Статистичну обробку даних виконували методами дисперсійного та кореляційного аналізів [16]. Для розрахунків і візуалізації застосовували пакет PAST (Paleontological Statistics) [17]. Оцінювання варіантів «гербіцид—норма внесення—гібрид—рік» проводили у відповідності до вимог методик державного сортовипробування щодо порівняння з контролем (механічна прополка) [15].

Експериментальний період (2022–2024 рр.) характеризувався значною варіабельністю кліматичних умов, зокрема кількістю та місячним розподілом опадів, що безпосередньо вплинуло на розвиток рослин.

У 2022 році, середньодобова температура була вищою на 1,08°C у порівнянні із середнім багаторічним показником. Загальна кількість

Herbicides were applied in compliance with the instructions of the manufacturing companies using a specialized experimental sprayer with calibrated nozzles, which ensured a working fluid rate of 200 L/ha. 7 and 14 days after the application of herbicides, plants were visually monitored for possible manifestations of phytotoxicity. No quantitative tolerance parameters were determined, since the main objective was to assess the effect of herbicides on the final yield of hybrids.

The moisture content in seeds, seed weight per plot, and yield per hectare were determined by standard methods. Seed samples were taken in accordance with DSTU 4601:2006 “Oilseeds. Sampling Methods”; the yield was recorded in accordance with DSTU 3355-96 “Agricultural Plant Products” and adjusted for 7% seed moisture content.

Data were statistically processed using ANOVA and correlation analysis [16]. The PAST (Paleontological Statistics) application was used for calculations [17]. The “herbicide—dose—hybrid—year” variants were compared with the control (mechanical weeding) in accordance with the requirements for the state variety trials [15].

The experimental period (2022–2024) was characterized by significant variability in climatic conditions, in particular the amount and monthly distribution of precipitation, which directly affected plant development.

In 2022, the average daily temperature was 1.08°C higher than the multi-year average. The total amount of precipitation during the growing period (April–September) was 209.3 mm, which

опадів протягом вегетаційного періоду (квітень–вересень) склала 209,3 мм, що значно нижче за середнє багаторічне (на 23,7 мм). Основний дефіцит опадів спостерігався у травні (19 мм) та червні (29 мм), що спричинило водний стрес на критичних етапах росту та розвитку, таких як ранній вегетативний ріст, цвітіння та налив насіння.

У 2023 році, середньодобова температура була вищою на 1,68°C у порівнянні із середнім багаторічним показником. Кількість опадів за той самий період склала 246 мм, що перевищило середнє багаторічне на 13 мм. Опади у квітні (102 мм) значно перевищували середнє багаторічне значення (на 57 мм), що забезпечило достатню вологість для початкового розвитку рослин. Проте у травні та червні спостерігався значний дефіцит вологи. Опади в липні (42 мм) частково компенсували нестачу вологи, але водночас спричинили вилягання рослин на деяких ділянках, що негативно вплинуло на урожайність.

У 2024 році кількість опадів за вегетаційний період склала 111,6 мм, що значно нижче за середнє багаторічне на 121,4 мм. Дефіцит вологи був особливо вираженим у травні (12,0 мм) та серпні (1,6 мм), які є критичними фазами для вегетативного росту та наливу насіння. Також, середньодобова температура була вищою на 3,12°C у порівнянні із середнім багаторічним показником. Нестача опадів суттєво вплинула на розвиток соняшнику, що призвело до зниження виповненості насіння та урожайності відповідно.

Результати та обговорення

Аналіз отриманих результатів показав чіткий вплив норми страхових гербіцидів на рівень урожайності досліджуваних гібридів соняшнику. Найвищу урожайність у середньому за роки дослідження (3,54 т/га) зафіксовано у гібрида Білоба за застосування гербіциду Пульсар Флекс у дозі 1,6 л/га, що перевищувало контрольний показник на 0,17 т/га або 5%. Цей результат доводить про добру селективність препарату у помірній дозі, що дозволяє ефективно контролювати бур'яни без зниження продуктивності культури (табл. 2).

Для гібриду Неома в цьому ж варіанті спостерігалось незначне зниження урожайності (на 0,18 т/га (–5%)), однак навіть за такого результату цей варіант залишався кращим порівняно з більшістю інших схем, що підкреслює гібрид-специфічний характер реакції рослин на діючу речовину.

was significantly less than the multi-year average (by 23.7 mm). The major precipitation deficits were observed in May (19 mm) and June (29 mm), which caused water stress at critical stages of growth and development, such as early vegetative growth, anthesis and seed filling.

In 2023, the average daily temperature was 1.68°C higher than the multi-year average. The amount of precipitation during this period was 246 mm, which exceeded the multi-year average by 13 mm. Precipitation in April (102 mm) was significantly more abundant than the multi-year average (by 57 mm), which provided sufficient moisture for initial plant development. However, there were significant water deficits in May and June. Precipitation in July (42 mm) partially compensated for the lack of moisture, but at the same time caused plant lodging in some plots, which negatively affected the yield.

In 2024, the amount of precipitation during the growing period was 111.6 mm, which was significantly lower than the multi-year average of 121.4 mm. The water deficit was especially pronounced in May (12.0 mm) and August (1.6 mm), which are critical phases for vegetative growth and seed filling. In addition, the average daily temperature was 3.12°C higher than the multi-year average. The lack of precipitation significantly affected the sunflower development, decreasing seed plumpness and yield.

Results and Discussion

Analysis of the data showed a clear effect of insurance herbicide doses on the yields of the studied sunflower hybrids. The highest mean yield across the study years (3.54 t/ha) was harvested from hyb. 'Biloba CLP' treated with Pulsar Flex 1.6 L/ha, which was more than the control yield by 0.17 t/ha or 5%. This result proves the good selectivity of the herbicide at a moderate dose, allowing for effective weed control without reducing the crop productivity (Table 2).

For hyb. 'Neoma' in the same variant, a slight decrease in yield was observed (by 0.18 t/ha (–5%)), however, even with such a result, this variant remained better compared to most other regimens, which emphasizes the hybrid-specific nature of the plant response to the active substance.

Таблиця 2. Вплив різних норм внесення страхових гербіцидів на урожайність гібридів соняшнику, 2022–2024 рр.
Table 2. Effects of various doses of insurance herbicides on the yields of sunflower hybrids, 2022–2024

Гербіцид / Herbicide	Норма внесенн я, л/га / Dose, L/ha (A)	Гібрид / Hybrid (B)	Рік / Year (C)				± до контролю / ± to the control	
			2022	2023	2024	середнє / Mean	т/га / t/ha	%
Контроль / Control	–	Неома / Neoma	4.23	4.00	2.91	3.71	–	–
		Білоба / Biloba CLP	4.07	3.53	2.52	3.37	–	–
		середнє / Mean	4.15	3.77	2.72	3.54	–	–
Геліантекс / Heliantex	0.045	Неома / Neoma	3.88	3.57	2.14	3.20	-0.52	-14
		Білоба / Biloba CLP	3.96	2.90	1.33	2.73	-0.64	-19
		Mean	3.92	3.24	1.74	2.96	-0.58	-16
	0.065	Неома / Neoma	3.89	3.10	2.07	3.02	-0.69	-19
		Білоба / Biloba CLP	3.61	2.90	1.05	2.52	-0.85	-25
		середнє / Mean	3.75	3.00	1.56	2.77	-0.77	-22
	0.09	Неома / Neoma	3.78	2.88	1.76	2.81	-0.91	-24
		Білоба / Biloba CLP	3.03	2.16	1.07	2.09	-1.29	-38
		середнє / Mean	3.41	2.52	1.42	2.45	-1.10	-31
Пульсар Флекс / Pulsar Flex	1.6	Неома / Neoma	4.32	3.85	2.43	3.53	-0.18	-5
		Білоба / Biloba CLP	4.27	4.46	1.89	3.54	0.17	5
		середнє / Mean	4.30	4.16	2.16	3.54	-0.01	0
	2.4	Неома / Neoma	3.99	3.98	2.43	3.47	-0.25	-7
		Білоба / Biloba CLP	4.18	3.43	1.93	3.18	-0.19	-6
		середнє / Mean	4.09	3.71	2.18	3.32	-0.22	-6
	3.2	Неома / Neoma	3.73	3.72	1.97	3.14	-0.57	-15
		Білоба / Biloba CLP	3.97	4.01	1.90	3.29	-0.08	-2
		середнє / Mean	3.85	3.87	1.94	3.22	-0.33	-9
НІР _{0.05} / LSD _{0.05}	А – 0.14; В – 0.13; С – 0.20; АВ – 0.25; АС – 0.33; ВС – 0.34; АВС – 0.45							

Підвищення норми внесення Пульсар Флекс до 2,4–3,2 л/га призводило до поступового зниження середньої урожайності (від –6 до –9% порівняно з контролем), що вказує на прояви часткової фітотоксичності та зниження селективності гербіциду за перевищення рекомендованих норми внесення 1,6 л/га середнє по факторах дорівнювало 3,54 т/га (0 до контролю), тоді як підвищення норми до 2,4 і 3,2 л/га супроводжувалося послідовним зниженням до 3,32 і 3,22 т/га відповідно. Різниця між 1,6 та

Increasing the Pulsar Flex dose to 2.4–3.2 L/ha led to a gradual decline in the mean yield (from –6 to –9% compared to the control), indicating partial phytotoxicity and decreased selectivity of the herbicide when the recommended dose of 1.6 L/ha was outranged. The average across factors was 3.54 t/ha (0 to the control), while increasing the doe to 2.4 and 3.2 L/ha was associated with a sequential decrease to 3.32 and 3.22 t/ha, respectively. The difference between 1.6 and 3.2 L/ha was 0.32

3,2 л/га становить 0,32 т/га і перевищує $HP_{0.05}$ для фактора «Норма внесення» ($A = 0,14$ т/га), тобто ефект «передозування» статистично вірогідний.

Найбільш виражене зниження урожайності спостерігалось за використання гербіциду Геліантекс, особливо у нормі 0,09 л/га, де середня урожайність зменшувалася на 1,10 т/га (–31%), а для гібриду Білоба — на 1,29 т/га (–38%). При використанні гербіциду Геліантекс спостерігався різко негативний ефект при підвищенні норм внесення (табл. 2). Кожен крок підвищення норми зменшував середню урожайність на 0,19 та 0,32 т/га відповідно; обидві різниці більші за $A = 0,14$ т/га, отже вірогідні. Навіть нижчі дози цього гербіциду (0,045–0,065 л/га) зумовлювали втрати урожайності на рівні 16–22%, що свідчить про високий рівень фітотоксичності діючої речовини для досліджуваних гібридів і про несумісність цих норм з умовами досліджу. Ймовірною причиною таких відмінностей є різна чутливість гібридів до діючих речовин та погодні умови років дослідження, адже у 2024 році спостерігалось загальне зниження урожайності в усіх варіантах, що могло посилити прояв токсичної дії. Встановлені значення $HP_{0.05}$ підтверджують вірогідність виявлених відмінностей між варіантами, зокрема для фактора А «норма внесення» (0,14 т/га) і В «гібрид» (0,13 т/га), що дозволяє розглядати зростання урожайності Білоба у варіанті Пульсар Флекс 1,6 л/га як статистично значиме.

Дослідження показало, що зниження урожайності під дією підвищених норм страхових гербіцидів відбувалося насамперед за рахунок погіршення елементів структури урожаю (табл. 3).

Маса 1000 насінин зменшувалася пропорційно підвищенню норми внесення препарату Геліантекс, що свідчить про уповільнення процесів наливу насіння під дією фітотоксичного стресу. У гібрида Білоба маса 1000 насінин знизилася від 65,4 г (контроль) до 54,8 г (0,09 л/га), тобто на 16%. Вміст олії у насінні цього ж гібрида зменшився з 48,1% до 44,5%, тоді як у гібрида Неома — з 47,3% до 45,0%. У разі застосування Пульсар Флекс 1,6 л/га спостерігалася стабільна маса 1000 насінин (66–8 г) і навіть незначне підвищення олійності (+0,4–0,7% до контролю), що пояснює найвищу урожайність у цьому варіанті.

Зі збільшенням норми внесення до 3,2 л/га маса 1000 насінин зменшувалася на 8–10%, а натура насіння — на 2,5–3,0%, що свідчить про часткову втрату селективності препарату.

т/га and exceeded $LSD_{0.05}$ for the “Dose” factor ($A = 0.14$ t/ha), i.e. the overdose effect was statistically significant.

The most pronounced decrease in the yield was noted when using Heliantex, especially at 0.09 L/ha, where the mean yield was decreased by 1.10 t/ha (–31%) and hyb. ‘Biloba CLP’ yield - by 1.29 t/ha (–38%). When using Heliantex at increased doses, a sharply negative effect was noticeable (Table 2). Each increment in the dose reduced the mean yield by 0.19 and 0.32 t/ha, respectively; both differences were higher than $A = 0.14$ t/ha, therefore significant. Even lower doses of this herbicide (0.045–0.065 L/ha) caused yield losses of 16–22%, indicating severe phytotoxicity of the active substance for the studied hybrids and unsuitability of these doses for the experimental conditions. The probable cause of such differences is different sensitivity of the hybrids to active substances and weather factors in the study years, because there was a general decrease in yield in 2024 in all variants, which could have enhanced toxic effects. $LSD_{0.05}$ values confirm significance of the detected differences between the variants, in particular for factor A (Dose) (0.14 t/ha) and B (Hybrid) (0.13 t/ha), which allows us to consider the increase in hyb. ‘Biloba CLP’ yield in the Pulsar Flex 1.6 L/ha experiment as statistically significant.

The study showed that the yield affected by increased doses of the insurance herbicides was decreased primarily due to the deterioration of yield constituents (Table 3).

TKW was decreased in proportion to increasing Heliantex dose, indicating a slowdown in seed filling because of phytotoxic stress. In hyb. ‘Biloba CLP’, TKW was decreased from 65.4 g (control) to 54.8 g (0.09 L/ha), i.e. by 16%. The oil content in seeds of this hybrid was decreased from 48.1% to 44.5%, while in hyb. ‘Neoma’, the oil content was decreased from 47.3% to 45.0%. In the Pulsar Flex 1.6 L/ha experiment, TKW was stable (66–68 g) and there was even a slight increase in the oil content (+0.4–0.7% to the control), which explains the highest yield in this variant.

As the dose was increased to 3.2 L/ha, TKW was decreased by 8–10%, and test weight was decreased by 2.5–3.0%, indicating a partial loss of the herbicide selectivity.

Таблиця 3. Основні елементи структури урожаю соняшнику залежно від норм внесення страхових гербіцидів. 2022–2024 рр.

Table 3. Major constituents of sunflower yield depending on doses of the insurance herbicides, 2022–2024.

Гербіцид / Herbicide	Норма внесення, л/га / Dose, L/ha (A)	Гібрид / Hybrid (B)	Маса 1000 насінин, г / TKW, g (C)	Натура, г/л / Test weight, g/dcm ³	Вміст олії, % / Oil content, %	± до контролю, т/га / ± to the control, t/ha
Контроль / Control	–	Неома / Neoma	66.8	448	47.3	–
		Білоба / Biloba CLP	65.4	452	48.1	–
Геліантекс Геліантекс / Heliantex	0.045	Неома / Neoma	62.1	444	46.3	–0.52
		Білоба / Biloba CLP	60.8	440	46.1	–0.64
	0.065	Неома / Neoma	59.3	438	45.6	–0.69
		Білоба / Biloba CLP	57.1	435	44.9	–0.85
	0.09	Неома / Neoma	56.0	431	45.0	–0.91
		Білоба / Biloba CLP	54.8	429	44.5	–1.29
Пульсар Флекс Пульсар Флекс / Pulsar Flex	1.6	Неома / Neoma	67.3	450	47.5	–0.18
		Білоба / Biloba CLP	68.0	454	48.4	+0.17
	2.4	Неома / Neoma	65.9	447	47.0	–0.25
		Білоба / Biloba CLP	64.5	446	47.2	–0.19
	3.2	Неома / Neoma	62.8	441	46.3	–0.57
		Білоба / Biloba CLP	61.5	442	46.0	–0.08
HIP _{0.05} / LSD _{0.05}	A – 1.9; B – 1.5; AC – 2.4					

Кореляційний аналіз підтвердив тісний позитивний зв'язок між урожайністю та масою 1000 насінин ($r = 0,82\text{--}0,88$, $p < 0,01$), тоді як зв'язок із вмістом олії був помірним ($r = 0,54\text{--}0,61$, $p < 0,05$). Натура насіння мала слабшу, але все ж позитивну кореляцію з урожайністю ($r = 0,39\text{--}0,44$). Множинна регресія показала, що основним фактором впливу урожайності був саме показник маси 1000 насінин ($\beta = 0,73$, $p < 0,01$), який пояснював понад 60 % загальної варіабельності результатів ($R^2 = 0,62$) (табл.4).

Correlation analysis confirmed a close positive relationship between yield and TKW ($r = 0.82\text{--}0.88$, $p < 0.01$), while the yield- oil content relationship was moderate ($r = 0.54\text{--}0.61$, $p < 0.05$). Test weight was weakly, but still positively correlated with yield ($r = 0.39\text{--}0.44$). Multiple regression demonstrated that TKW was the major factor influencing yield ($\beta = 0.73$, $p < 0.01$), accounting for over 60% of the total variability of the data ($R^2 = 0.62$) (Table 4).

Таблиця 4. Кореляції між урожайністю та елементами структури урожаю соняшнику за різних норм внесення страхових гербіцидів (середнє за 2022–2024 рр.)

Table 4. Correlations between sunflower yield and yield constituents at various doses of the insurance herbicides (mean for 2022–2024)

Гербіцид / Herbicide	Норма внесення, л/га / Dose, L/ha	r (урожайність / маса 1000 насінин) / r (yield – TKW)	r (урожайність / вміст олії) / r (yield – oil content)	r (урожайність – натура) / r (yield – test weight)	R ² скор. / R ² _{ad.}
Контроль / Control	–	0.84 **	0.58 *	0.42	0.61
Heliantex	0.045	0.83 **	0.56 *	0.40	0.59
Геліантекс	0.065	0.86 **	0.48	0.36	0.58
Геліантекс / Heliantex	0.090	0.88 **	0.51	0.34	0.62
Pulsar Flex	1.6	0.87 **	0.61 *	0.44	0.66
	2.4	0.78 **	0.53 *	0.39	0.60
	3.2	0.81 **	0.49	0.37	0.58

Примітки:

* – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$.

R² скор. — скоригований коефіцієнт детермінації для моделі множинної регресії

Notes:

* – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$.

R²_{ad.} — coefficient of determination adjusted for the multiple regression model

Це вказує, що зниження урожайності під впливом гербіцидів відбувалося переважно через порушення процесів наливу та формування насіння. Найвищу узгодженість між структурними елементами та урожайністю зафіксовано у варіанті Пульсар Флекс 1,6 л/га (R² скор. = 0,66), що вказує на збалансовану дію препарату без вірогідного порушення фізіології наливу насіння.

Отримані результати узгоджуються з даними інших дослідників, які також відзначають суттєвий вплив післясходових гербіцидів на морфогенез та структуру урожаю соняшнику. Зокрема, Gürküz та ін. [10] показали, що підвищення доз післясходових гербіцидів у посівах соняшнику спричиняє зменшення маси 1000 насінин і зниження урожайності на 12–18%, що пов'язано з пригніченням фотосинтетичної активності листків і затримкою наливу насіння. Аналогічні спостереження подані Serim, Yılmaz і Altan [11], які відзначили, що навіть низькі «зносіві» дози гербіцидів можуть викликати симптоми фітотоксичності — побуріння країв листків і зменшення розміру сім'янок, що у підсумку призводить до зниження продуктивності.

Отримані у нашому досліді залежності між урожайністю та масою 1000 насінин ($r = 0,82–0,88$; $p < 0,01$) цілком відповідають закономірностям, описаним у вітчизняних роботах Антипової і Чорного [12], які встановили,

This suggests that the herbicide-induced decrease in yield occurred mainly due to disruption of seed filling and formation processes. The highest agreement between constituents and yield was recorded in the Pulsar Flex 1.6 L/ha experiment (R²_{ad.} = 0.66), indicating a balanced effect of the herbicide without a significant physiological disorders of seed filling.

Our findings are consistent with data of other researchers, who also noted a significant effect of post-emergence herbicides on sunflower morphogenesis and yield structure. In particular, Gürküz et al. [10] showed that increasing doses of post-emergence herbicides in sunflower fields resulted in a decrease in TKW and yield by 12–18%, which was associated with suppressed photosynthetic activity of leaves and delayed seed filling. Similar observations were made by Serim, Yılmaz and Altan [11], who noted that even low doses of herbicides could cause phytotoxic symptoms such as browning of leaf edges and a decrease in the size of achenes, ultimately leading to a decline in productivity.

The correlation between yield and TKW ($r = 0.82–0.88$; $p < 0.01$) in our experiments fully correspond to the patterns described by Antipova and Chorny [12], who reported that outranging the recommended doses of insurance

що перевищення рекомендованих норм страхових гербіцидів зменшує масу насінин і вміст олії на 0,4–0,7 %, що прямо корелює із падінням урожайності. Подібну тенденцію зафіксовано також у дослідженнях Козечко та Іванченко [22], де при застосуванні підвищених доз гербіцидів у посівах соняшнику спостерігалось зменшення кількості виповнених насінин у кошику, що вважалося одним із головних механізмів зниження урожайності.

Водночас результати для препарату Пульсар Флекс у дозі 1,6 л/га підтверджують його селективність і узгоджуються із висновками Aksyonov та ін. [23], які зазначили, що контроль бур'янів у степових умовах потребує адаптованих норм внесення для збереження продуктивності. Висока кореляція між урожайністю та масою 1000 насінин, за понижених доз, свідчить, що у таких умовах основним механізмом зниження продуктивності є саме порушення наливу насіння, а не втрата густоти стояння чи числа кошиків.

Наші результати підтверджують світову тенденцію: надмірне підвищення норм страхових гербіцидів у стресових умовах (висока температура, дефіцит вологи) погіршує формування урожаю переважно через зменшення розміру і маси насіння, що підтверджує необхідність суворої регламентації доз і врахування гібридних особливостей культури.

Отримані результати мають практичне значення для удосконалення технологій вирощування соняшнику у зоні Степу, зокрема для підбору безпечних норм внесення страхових гербіцидів з урахуванням чутливості конкретних гібридів, що дозволить мінімізувати ризики фітотоксичності та стабілізувати урожайність у роки з несприятливими погодними умовами.

Висновки.

Встановлено, що норма внесення післясходових гербіцидів є ключовим чинником формування урожайності соняшнику, причому її дія вірогідно залежить від генетичних особливостей гібридів. За трирічними результатами (2022–2024 рр.) середня урожайність соняшнику знижувалася при перевищенні рекомендованих норм гербіцидів, що свідчить про втрату селективності діючої речовини. Для гербіциду Пульсар Флекс визначено оптимальну норму внесення 1,6 л/га, яка забезпечувала найвищу стабільну урожайність (3,54 т/га у середньому) без проявів фітотоксичності. Підвищення дози до 2,4–3,2 л/га

herbicides reduced seed weight and oil content by 0.4–0.7%, which was directly correlated with a drop in yield. A similar trend was also recorded in a study by Kozechko and Ivanchenko [22], where increased doses of herbicides decreased the number of filled seeds in sunflower heads, which was considered one of major mechanisms of yield reduction.

At the same time, data on Pulsar Flex 1.6 L/ha confirm its selectivity and are consistent with the conclusions of Aksyonov et al. [23], who noted that weed control in the steppe required adjusted doses to maintain productivity. The strong correlation between yield and TKW at reduced doses indicates that in such conditions the main mechanism of productivity reduction is rather seed filling disorders than a decrease in plant density or the number of heads.

Our findings confirm the following global trend: excessive outranging doses of insurance herbicides under stressful conditions (high temperature, water deficit) worsens yield formation primarily due to a decrease in the size and weight of seeds, confirming the need for strict regulations of doses, with due account for hybrids' peculiarities.

The results obtained are of practical importance to improve sunflower growing technologies for the steppe zone, in particular to select safe doses of insurance herbicides, taking into account hybrids' sensitivity, which will minimize phytotoxicity risks and stabilize year-to-year yields in seasons with adverse weather conditions.

Conclusions.

It was found that doses of post-emergence herbicides are a key factor for sunflower yield, and their effects are likely to depend on genetic characteristics of hybrids. Based on three-year results (2022–2024), the mean yield of sunflower was decreased when the recommended doses of herbicides were outranged, indicating a loss of selectivity of the active substances. For Pulsar Flex, 1.6 L/ha was set as the optimal dose, as it ensured the highest stable yield (3.54 t/ha on average) without manifestations of phytotoxicity. Increasing the dose to 2.4–3.2 L/ha caused a 6–9% decline in yield due to partial inhibition of seed filling.

спричиняло зниження урожайності на 6–9% через часткове пригнічення процесів наливу насіння. Гербіцид Геліантекс виявив низьку селективність для обох гібридів — особливо у дозі 0,090 л/га, де втрати урожайності становили 31–38%. Навіть мінімальні дози (0,045–0,065 л/га) спричиняли вірогідне зниження продуктивності (на 16–25%), що пов'язано з уповільненням наливу та зменшенням маси 1000 насінин на 10–16%. Кореляційний аналіз підтвердив, що головним структурним показником, який визначає варіацію урожайності під дією гербіцидів, є маса 1000 насінин ($r = 0,82–0,88$; $p < 0,01$). Вміст олії має середній позитивний зв'язок ($r = 0,48–0,61$), тоді як натура насіння слабше корелює з урожайністю ($r = 0,39–0,44$). Модель множинної регресії ($R^2 = 0,62–0,66$) показала, що понад 60% варіації урожайності пояснюється саме гербіцидно зумовленими змінами у наливі насіння. Наукова новизна дослідження полягає у кількісному визначенні селективних «вікон безпечних доз» післясходових гербіцидів для гібридів різних технологічних груп (Clearfield та Clearfield Plus) із використанням кореляційно-регресійного аналізу. Це дозволило пояснити зниження урожайності, зумовлене порушенням наливу насіння під дією фітотоксичного стресу. Практичною рекомендацією для умов Степу України є застосування гербіциду Пульсар Флекс у дозі 1,6 л/га, що забезпечує ефективний контроль бур'янів і збереження урожайності. Використання Геліантексу в дозах понад 0,045 л/га є недоцільним через високий ризик фітотоксичності.

Heliantex showed low selectivity for both hybrids, especially at 0.090 L/ha, where yield losses amounted to 31–38%. Even the low doses (0.045–0.065 l/ha) caused a significant decline in productivity (by 16–25%), which was associated with a slowdown in seed filling and a decrease in TKW by 10–16%. Correlation analysis confirmed that TKW was the major yield constituent that accounted for the variations in herbicide-affected yield ($r = 0.82–0.88$; $p < 0.01$). There was a medium positive correlation ($r = 0.48–0.61$) between oil content and yield, while test weight was weaker correlated with yield ($r = 0.39–0.44$). The multiple regression model ($R^2 = 0.62–0.66$) showed that over 60% of the yield variation was explained by herbicide-induced changes in seed filling. The scientific novelty of the study lies in the quantification (using correlation and regression analyses) of selective “safe dose windows” for post-emergence herbicides in hybrids of different technological groups (Clearfield and Clearfield Plus). This allowed us to explain the decrease in yield caused by impaired seed filling under the influence of phytotoxic stress. A practical recommendation for the Steppe of Ukraine is to use Pulsar Flex at 1.6 L/ha, the dose, which ensures effective weed control and yield maintenance. Application of Heliantex at doses above 0.045 L/ha is inappropriate due to a high risk of phytotoxicity.

References

1. Vasylovskaya K, Andriienko O, Vasylovskiy O, Andriienko A, Volodymyr P, Malakhovskaya V. (2021). Dynamics of export potential of sunflower oil in Ukraine. *Helia*, 44(74), 115–123. <https://doi.org/10.1515/helia-2021-0001>
2. Pilorgé E. (2020). Sunflower in the global vegetable oil system: situation, specificities and perspectives. *OCL*, 27, 34. <https://doi.org/10.1051/ocl/2020028>
3. FAOSTAT. (2025, September 16). Crops and livestock products: sunflower. Retrieved from <https://www.fao.org/faostat/>
4. State Statistics Service of Ukraine. (2025, September 13). Economic statistics / Economic activities / Agriculture, forestry and fisheries. Retrieved from <https://www.ukrstat.gov.ua> on 09/13/2025 [in Ukrainian]
5. Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine. (2025, September 12). State Register of Plant Varieties Suitable for Dissemination in Ukraine. Retrieved from <https://minagro.gov.ua/file-storage/reystyr-sortiv-roslyn> on 09/12/2025 [in Ukrainian]
6. 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, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0426>
7. Seiler GJ, Qi LL, Marek LF. (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>
8. Dimitrijevic A, Horn R. (2018). Sunflower hybrid breeding: from markers to genomic selection. *Frontiers in Plant Science*, 8, 2238. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02238>

9. Vear F. (2016). Changes in sunflower breeding over the last fifty years. OCL, 23(2), D202. <https://doi.org/10.1051/ocl/2016006>
10. Gürküz R, Alptekin H, Karadavut U, Erdoğan T. (2023). Effectiveness of pre-emergence and post-emergence herbicides on weed population and yield components in sunflower. Crop Protection, 170, 115835. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.115835>
11. Serim AT, Yilmaz F, Altan B. (2024). Response of conventional sunflower cultivars to drift rates of certain herbicides: injury and yield losses. PeerJ, 12, e16729. <https://doi.org/10.7717/peerj.16729>
12. Antypova L, Chornyi S. (2021). Weed control and sunflower productivity in the southern Steppe of Ukraine. Ukrainskyi Chornomorskyi Naukovyi Visnyk. Series: Ahrarni Nauky, 25(4), 55–65. [in Ukrainian]
13. Dobrenkyi O. (2025). Influence of foliar application of water-soluble boron on sunflower productivity. Journal of Water Research, 3(3), 1–4. doi 10.33140/jwr.03.03.04
14. Hoptsi TI, Proskurnin MV. (2003). Genetic and statistical methods in breeding. Kharkiv: KhNAU. [in Ukrainian]
15. Volkodav VV. (2000). Methodology of state trials of agricultural crop varieties. Kyiv: Derzhavna Komisiia Ukrainy po Vyprobuvanniu ta Okhoroni Sortiv Roslyn. [in Ukrainian]
16. Hammer O, Harper DAT. (2001). PAST: palaeontological statistics software package for education and data analysis. Palaeontologia Electronica, 4(1), 1.
17. Radanović A, Miladinović D, Cvejić S, Jocković M, Jocić S. (2018). Sunflower genetics from ancestors to modern hybrids: a review. Genes, 9(11), 528. <https://doi.org/10.3390/genes9110528>
18. Soroka AI, Lyakh VA. (2019). Polygenic inheritance of bracts number in sunflower. Helia, 42(71), 221–228. <https://doi.org/10.1515/helia-2019-0015>
19. Marinković R, Škorić D. (1984). Examination of heritability of certain quantitative traits of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Prod. Process. Cultivars, 1, 161–167.
20. Chuiko D. (2022). Evaluation of sunflower starting material for breeding-valuable traits. Seleksiia i Nasinnytstvo. (121):6–14. doi:10.30835/2413-7510.2022.260986.
21. 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>
22. Kozechko I, Ivanchenko et al. (2025). Effectiveness of Express Gold herbicide in sunflower depending on application methods. Ukrainskyi Chornomorskyi Naukovyi Visnyk. Series: Ahrarni Nauky, 29(1), 20–29. [in Ukrainian]
23. Aksyonov I, Evtushenko G, Matsai N, Korzhova N, Aksyonova I. (2025). The weeds in sunflower crops when grown in arid conditions of the Steppe of Ukraine. Turkish Journal of Agriculture — Food Science and Technology (TURJAF), 13(1), 100–107. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v13i1.100-107>

Надійшла до редакції 18.09.2025 р.; переглянуто 20.10.2025 р.; прийнято до друку 02.12.2025 р.
Received September 18, 2025; revised October 20, 2025; accepted December 02, 2025