

24. Turak, R.O. (2025). Sunflower Yields Depending on Fertilization Systems in the Western Region of Ukraine. *Ukrainian journal of natural sciences*, 12, 240–247. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.12.2025.24>

25. Hospodarenko, G.M. (2018). Fertilizer Application System. Kyiv: SIK GROUP Ukraine LLC, 376.

Отримано: 07.04.2026. Прийнято: 17.04.2026. Опубліковано: 22.05.2026.

DOI <https://doi.org/10.31359/2413.7642.2026.1.210>

УДК 633.854.78:632.954:631.559

**Вакуленко А. М.**, аспірант кафедри генетики, селекції та насінництва  
E-mail [vakulenkoartem85@gmail.com](mailto:vakulenkoartem85@gmail.com), ORCID 0009-0005-6278-4837  
Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна

## ВПЛИВ ГЕРБІЦИДІВ НА ФОРМУВАННЯ ЦІННИХ ГОСПОДАРСЬКИХ ОЗНАК СОНЯШНИКА: ОГЛЯД СУЧАСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

**Анотація.** У статті узагальнено сучасні наукові підходи до оцінки впливу гербіцидів на формування цінних господарських ознак соняшника, що є однією з провідних олійних культур світу та України. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю підвищення ефективності виробництва соняшника в умовах зростаючого антропогенного навантаження, поширення резистентності бур'янів до гербіцидів і потенційного негативного впливу хімічних засобів захисту на ріст, розвиток і продуктивність культури. Незважаючи на високу ефективність гербіцидів у контролі забур'яненості, їх застосування може супроводжуватися проявами фітотоксичності, що обмежує реалізацію генетичного потенціалу гібридів соняшника. **Метою** нашого дослідження є узагальнення та систематизація літературних даних щодо впливу гербіцидів на фізіолого-біохімічні процеси, морфологічні ознаки, ріст і розвиток рослин соняшника, а також на формування елементів структури врожаю і загальної продуктивності культури. **Результати.** У результаті аналізу встановлено, що гербіциди реалізують свою дію через інгібування ключових біохімічних процесів, зокрема фотосинтезу, синтезу амінокислот, жирних кислот і клітинного поділу, що призводить до змін у морфогенезі рослин. Виявлено, що вплив гербіцидів може проявлятися у вигляді хлорозу, некрозу, деформації листків, пригнічення росту, зменшення біомаси та розвитку кореневої системи. Доведено, що ступінь фітотоксичності залежить від типу препарату, норми внесення, фаз розвитку культури, погодних умов і генотипу соняшника. Встановлено, що гербіциди суттєво впливають на елементи структури врожаю, зокрема густоту стояння рослин, діаметр кошика, кількість насінин та масу 1000 насінин, що в кінцевому підсумку визначає рівень урожайності. **Висновки.** Узагальнення результатів свідчить, що поряд із позитивною роллю у контролі бур'янів гербіциди можуть спричинити значні втрати врожаю за умов недотримання регламентів застосування. У зв'язку з цим обґрунтовано необхідність оптимізації гербіцидного навантаження, впровадження гербіцидостійких гібридів та інтегрованих систем

контролю бур'янів. Отже, раціональне використання гербіцидів є важливою передумовою підвищення продуктивності соняшника та екологічної безпеки агроценозів.

**Ключові слова:** соняшник, гербіциди, фітотоксичність, урожайність, контроль бур'янів, ріст і розвиток рослин.

**A. Vakulenko**, post-graduate student

E-mail vakulenkoartem85@gmail.com, ORCID 0009-0005-6278-4837

State biotechnological university Kharkiv, Ukraine

### **Influence of herbicides on the formation of valuable agronomic traits of sunflower: a review of modern research**

**Abstract.** The article summarizes current scientific approaches to assessing the impact of herbicides on the formation of economically valuable traits in sunflower, which is one of the leading oilseed crops in Ukraine and worldwide. The relevance of the study is determined by the need to improve the efficiency of sunflower production under conditions of increasing anthropogenic pressure, the spread of herbicide-resistant weeds, and the potential negative effects of chemical plant protection products on crop growth, development, and productivity. Despite the high efficacy of herbicides in weed control, their application may be accompanied by manifestations of phytotoxicity, which limits the realization of the genetic potential of sunflower hybrids. **The purpose of the study** was to generalize and systematize literature data on the effects of herbicides on the physiological and biochemical processes, morphological traits, growth and development of sunflower plants, as well as on the formation of yield structure components and the overall productivity of the crop. **Results.** The analysis showed that herbicides exert their effects through the inhibition of key biochemical processes, including photosynthesis, amino acid synthesis, fatty acid synthesis, and cell division, resulting in alterations in plant morphogenesis. It was found that herbicide effects may manifest as chlorosis, necrosis, leaf deformation, growth suppression, reduced biomass accumulation, and impaired root system development. It was demonstrated that the degree of phytotoxicity depends on the type of herbicide, application rate, crop growth stage, weather conditions, and sunflower genotype. Herbicides were also found to significantly affect yield structure components, particularly plant stand density, head diameter, seed number, and thousand seed weight, which ultimately determine the final yield level. **Conclusions.** The generalized findings indicate that, alongside their positive role in weed control, herbicides may cause substantial yield losses if application regulations are not properly followed. In this regard, the need to optimize herbicide load, introduce herbicide-tolerant hybrids, and implement integrated weed management systems is well justified. Therefore, the rational use of herbicides is an important prerequisite for increasing sunflower productivity and ensuring the ecological safety of agrocenoses.

**Keywords:** sunflower, herbicides, phytotoxicity, yield, weed control, plant growth and development.

**Вступ.** Соняшник є однією з провідних олійних культур у світі та Україні, що має важливе економічне і продовольче значення. Підвищення його продуктивності значною мірою залежить від ефективності технологій вирощування, серед яких особливе місце займає система захисту посівів від бур'янів. У сучасному землеробстві

гербіциди є основним інструментом контролю забур'яненості, проте їх широке застосування супроводжується низкою проблем, зокрема проявами фітотоксичності, негативним впливом на ріст і розвиток рослин, а також ризиком зниження врожайності. Крім того, актуальності набуває проблема формування резистентності бур'янів до діючих речовин гербіцидів і зростання екологічного навантаження на агроценози.

У зв'язку з цим виникає необхідність узагальнення сучасних наукових даних щодо впливу гербіцидів на рослини соняшника та оцінки їх ролі у формуванні цінних господарських ознак культури.

Метою нашого огляду є узагальнення наукових даних щодо впливу гербіцидів на формування цінних господарських ознак соняшника та визначення особливостей їх застосування у сучасних технологіях вирощування культури.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Соняшник належить до провідних сільськогосподарських олійних культур як у світовому, так і аграрному секторі України, де він має вагоме економічне і продовольче значення. Ця культура посідає четверте місце серед найважливіших олійних культур світу, вирізняється високим вмістом ненасичених жирних кислот і за своєю значущістю як олійна культура поступається лише сої як джерело харчової рослинної олії. [1–4] Серед однорічних сільськогосподарських культур, що вирощуються з метою одержання харчової олії, соняшник посідає третє місце у світовому масштабі, поступаючись лише сої та ріпаку за рівнем її виробництва [5]. Особливу цінність соняшника у світовому сільському господарстві зумовлює його висока екологічна адаптивність до різноманітних умов навколишнього середовища. Соняшник має значну стійкість до коливань температурного режиму, дефіциту ґрунтової і повітряної вологи, різного ґрунтового складу, а також добре пристосовується до різних технологій вирощування [6–9].

Починаючи з середини ХХ століття відзначається стійка тенденція до розширення посівних площ соняшника та збільшення обсягів валового його виробництва. Водночас підвищення рівня продуктивності соняшнику значною мірою зумовлюється безпосередньо розвитком селекції та переведення соняшника з вирощування сортів популяцій на гібридну основу, а також ефективністю систем захисту посівів від бур'янів у посівах соняшника [10–11].

**Історичні витоки початку використання гербіцидів у сільському господарстві.** Протягом тисячоліть, до появи хімічних гербіцидів у 1940-х роках, фермери використовували ручні та механічні способи обробки ґрунту для контролю бур'янів у посівах. Еволюція цих підходів відбувалася від ручного прополювання до застосування

простих знарядь, а з початку ХХ століття уже безпосередньо механізованих культиваторів.

З розвитком сільське господарство поступово почало переходити до застосування ефективніших методів обробітку посівів [12]. На ранніх етапах розвитку сільського господарства, що відбувалося близько 10 000 р. до н. е., бур'яни видаляли вручну. Згідно різних досліджень приблизно з 6000 р. до н. е., для обробітку почали застосовувати найпростіші ручні знаряддя ручної праці. Близько 1000 р. до н. е. у боротьбі з бур'янами та обробітку ґрунту вже почали використовували борони, які тягнули воли та коні. Починаючи з початку ХХ століття, у зв'язку з розвитком сільського господарства, почали набувати поширення культиватори, а в період 1930 і 1947 роках були створені перші біологічні та хімічні речовини для боротьби з бур'янами, що у подальшому отримали назву – гербіциди [13].

На початку ХХ століття європейські вчені розпочали експерименти із застосуванням солей важких металів для контролю бур'янів, однак у США ці речовини виявилися малоєфективними через низьку вологість повітря в західних штатах, що перешкождала їх достатньому поглинанню рослинами шкідниками [14]. Більшість хімічних засобів боротьби з бур'янами у той час мали суттєві недоліки. Такі сполуки, як арсенат натрію, триоксид арсену та сірчана кислота, характеризувалися високою токсичністю для людини й потребували внесення у значних нормах – кілька кілограмів на гектар, що створювало певні ризики для людини та сільського господарства.

Саме 1940-ві роки стали переломним етапом в історії сільського господарства, оскільки саме в цей період було відкрито перший синтетичний гербіцид, який докорінно змінив технології вирощування сільськогосподарських культур. Основним періодом розвитку хімічного контролю бур'янів, можна вважати саме 1940-ві роки із відкриттям 2,4-дихлорфеноксиоцтової кислоти (2,4-D), що була синтезована в ході досліджень хімічної зброї під час Другої світової війни [15]. Після ефективного впровадження у виробництво 2,4-D у 1940-х роках, у період 1950–1980-х років, можна вважати піком розвитку та відкриття гербіцидів, коли нові механізми їх дії виявлялися в середньому з періодичністю один раз на два роки, а самі препарати стали активно впроваджувати у сільськогосподарське виробництво. Комерційний успіх гербіцидів у цей період був надзвичайно значним і сприяв розвитку рослинництва та збільшення валових зборів продукції. Частка продажів гербіцидів у структурі загального обсягу реалізації пестицидів зростає з 20 % до 48 % упродовж 1960–2005 років [16]. Втім, у цей період дослідниками було виявлено перші ознаки резистентності бур'янів до гербіцидів, а наприкінці 1960-х років було вперше офіційно встановлено факт стійкості до гербіцидів групи s-триазинів, що стало одним із

перших задокументованих випадків гербіцидної резистентності рослин [17, 18].

Сучасний етап розвитку сільського господарства, що триває з 1990-х років і до сьогодні, характеризується різким уповільненням інновацій у сфері гербіцидів, оскільки протягом понад 30 років не було комерціалізовано жодного нового механізму дії. Ця стагнація збіглася з широким упровадженням культур, стійких до гліфосату, та посиленням залежності від застосування гліфосату, що, своєю чергою, знизило зацікавленість галузі у відкритті нових хімічних речовин для гербіцидів [5–9, 19].

**Фізіологічні особливості та механізми дії діючих речовин гербіцидів на рослини.** Гербіциди, що використовуються у сільському господарстві становлять широкий спектр різноманітних хімічних сполук, призначених для контролю небажаної рослинності шляхом вибіркового порушення життєво важливих біологічних процесів у них. Зазвичай це низькомолекулярні речовини, які не мають власної безпосередньої токсичності, а реалізують гербіцидну дію через інгібування специфічних молекулярних ділянок у ключових біохімічних і фізіологічних процесах рослин. Гербіциди класифікують за механізмом дії, який складається щонайменше з 16 основних механізмів впливу на всі основні фізіологічні функції рослин, зокрема фотосинтез, синтез жирних кислот, амінокислот, білків і пігментів, гормональну систему, а також безпосередньо клітинний цикл і формування клітинної стінки [20, 21].

Гербіциди реалізують свою дію через різноманітні механізми впливу, спрямовані на ключові біохімічні процеси рослинного організму. Найпоширенішим серед них є саме пригнічення фотосинтезу у рослині. Понад 50 % комерційно доступних гербіцидів на сьогодні призводять до порушення транспорту електронів у процесі фотосинтезу [22].

Порушення синтезу амінокислот є одним із важливих факторів впливу гербіцидів на рослину [23]. Зокрема, гербіциди, що пригнічують наприклад ацетолактатсинтазу (ALS), блокують біосинтез амінокислот із розгалуженим ланцюгом амінокислот типу валіну, лейцину та ізолейцину. Гліфосат, один із найрозповсюдженіших гербіцидів на сьогоднішній день у сільському господарстві, пригнічує 5-енолпірувілшикімат-3-фосфатсинтазу (EPSPS), яка бере участь у біосинтезі ароматичних амінокислот – тирозину, фенілаланіну та триптофану [24].

Пригнічення або порушення синтезу жирних кислот є ще одним важливим механізмом дії гербіцидів, особливо ефективним у контролі однодольних бур'янів. Інгібітори ацетил-КоА-карбоксилази (ACCCase) блокують синтез жирних кислот і представлені такими класами

гербіцидів, як арилоксифеноксипропіонати, циклогександіони та фенілпіразоліни [12].

Також, встановлено, що порушення клітинного поділу відбувається під впливом гербіцидів, які пригнічують мітоз шляхом безпосередньої взаємодії з тубуліном, блокують полімеризацію мікротрубочок і порушують розходження хромосом під час мітотичного поділу [23].

Гормональні гербіциди, зокрема наприклад міметики ауксину, становлять окремий клас сполук речовин, спрямованих на порушення регуляції росту рослин. Ці речовини за своєю структурою подібні до природного рослинного гормону ауксину й імітують його дію через взаємодію з ауксин зв'язувальними білками, спричиняючи неконтрольоване розтягнення та поділ клітин та загибелі рослини [25, 26].

До додаткових механізмів дії належить пригнічення синтезу пігментів, за якого гербіциди блокують 4-гідроксифенілпіруватдіоксигеназу (HPPD), порушуючи синтез каротиноїдів у рослині, що своєю чергою, спричиняє деградацію хлорофілу та прояв хлорофілії [27].

Гербіциди контактної дії, такі як пеларгонова кислота, спричиняють значне ушкодження клітинних мембран у рослині та руйнування ліноленової кислоти в тилакоїдних мембранах, спричиняючи швидкий вихід електролітів із клітин [28].

Встановлено, що ефективність гербіцидів залежить безпосередньо від їх поглинання через поверхневі тканини рослини та подальшої транслокації ксилемою або флоемою до цільових ділянок, а також від метаболізму рослини, який може або детоксикувати гербіциди, або активувати окремі сполуки.

У рослин сформовані механізми захисту від гербіцидного впливу за допомогою складних багатофазних систем детоксикації, що включають ферментативну модифікацію, реакції кон'югації та клітинну компартменталізацію. Ці природні механізми захисту, до яких належать антиоксидантні системи та метаболічні шляхи, визначають селективність дії гербіцидів і можуть зумовлювати виникнення резистентності у разі їх посилення внаслідок генетичного або фізіологічного пристосування рослини [6, 8, 17–24].

**Вплив на параметри росту та розвитку рослин соняшника.** За різними науковими дослідженнями встановлено, що гербіциди можуть негативно впливати на рослини соняшнику, порушуючи ключові біологічні процеси, зокрема фотосинтез і білковий обмін, що призводить до появи видимих ушкоджень і пригнічення росту і найголовніше це призводить до суттєвого зниження урожайності. При цьому, ступінь

вираженості цих ефектів залежить від типу гербіциду та умов його застосування.

Небажані ефекти можуть виявлятися у формі хлорозу, опадання листків, некротичних уражень, морфологічних відхилень, посиленого росту, деформації та скручування листової пластинки, крайових опіків, а також затримки появи сходів і порушення процесів проростання насіння. Водночас ознаки пошкодження здатні проявлятися на різних органах рослини [29, 30].

Встановлено, що гербіциди мають суттєвий вплив на висоту рослин соняшнику внаслідок пригнічення їх росту, причому ступінь цього впливу залежить від типу гербіциду, норми внесення та строків застосування відповідно. Деякі гербіциди можуть спричинити зменшення висоти рослин до 55 %, тоді як ефективний контроль бур'янів за допомогою гербіцидів, навпаки, здатний забезпечувати формування вищих рослин порівняно з умовами забур'янених посівів.

Також, відмічається, що застосування ґрунтових гербіцидів за умови використання їх для контролю бур'янів може сприяти кращому формуванню знаки висоти рослин. Дослідження свідчать, що ґрунтові гербіциди, внесені до появи сходів, створюють більш оптимальні умови для росту соняшнику, внаслідок чого оброблені рослини були на 2,9–4,5 см вищими порівняно з необробленим контролем [31].

Відмічається, що застосування гербіцидів спричиняє суттєве зниження накопичення вегетативної біомаси соняшнику, причому втрата біомаси є одним із найпоширеніших показників, які використовують для оцінювання фітотоксичності гербіцидів і чутливості рослин у виробництві [32].

Гербіциди мають суттєвий вплив на розвиток кореневої системи соняшнику, пригнічуючи поділ клітин у ділянках корневих верхівок і зменшуючи довжину коренів. Розвиток кореневої системи часто є найбільш чутливим показником впливу гербіцидів, а деякі препарати здатні знижувати довжину кореня до 50 % навіть при їх незначних концентраціях.

У різних дослідженнях по впливу фітотоксичності гербіциди спричиняли значні морфологічні ушкодження листків соняшнику, зокрема хлороз, некроз і зменшення площі листової поверхні, іноді навіть до 90 %, а також впливають на діаметр стебла та формування кошика [33].

Різні класи гербіцидів виявляють неоднаковий рівень фітотоксичності щодо соняшнику. Наприклад, гліфосат, сульфонілсечовина та інгібітори HPPD можуть спричинити значні ушкодження рослин, тоді як окремі препарати, зокрема сульфентразон, попри фітотоксичність, сприяють до відновлення рослин.

Рослини також виявляють симптоми в'янення, втрату тургору та появу хлоротичних плям на листках [34]. Більш тяжкі ушкодження включають деформацію листків, пошкодження точок росту та загибель окремих рослин [35]. Симптоми, пов'язані з ростовими процесами, також є важливими індикаторами гербіцидного ушкодження. У рослин сояшнику спостерігаються затримка росту та пригнічення розвитку [33].

**Вплив гербіцидів на урожайність та елементи структури урожаю сояшнику.** Застосування гербіцидів має одну з головних функцій у технології вирощування сояшнику сьогодні, забезпечуючи ефективний контроль з бур'янами та підвищення рентабельності виробництва культури. Втім, активне використання у сучасному сільському господарстві гербіцидів з різними хімічними речовинами має суттєвий вплив на навколишнє середовище і в тому числі на здоров'я людини.

За результатами різних досліджень було встановлено негативний вплив при застосуванні гербіцидів на майже всі елементи структури урожаю сояшнику [36]. Основний фактор зниження врожайності пов'язаний із істотним зменшенням густоти стояння рослин сояшнику, що є головним компонентом урожаю [37]. Дія гербіцидів суттєво впливає на ознаку діаметра кошика до 76–77 % за помірних норм впливу, а за дуже високих концентрацій гербіциду формування кошиків узагалі не відбувається [36].

Ознаки, пов'язані з формуванням насіння, також суттєво погіршуються за впливу гербіцидів. Із підвищенням норм застосування гербіцидів зменшується кількість насінин на рослину [38]. Маса 1000 насінин може знижуватися за різними дослідженнями до 21 % навіть за високого рівня гербіцидного навантаження, що свідчить про її відносно меншу чутливість порівняно з іншими елементами структури урожаю та сильний генетичний контроль. При цьому, встановлено, що за дуже високих концентрацій гербіцидів рослини сояшнику взагалі можуть не сформувати повноцінне насіння. Вплив фітотоксичності на загальну врожайність сояшника є вкрай суттєвим, може спричинити 100 % втрату урожаю залежно від типу гербіциду, його норми внесення та генотипу сояшнику. Також відмічається різними науковцями, що післядія гербіцидів, що накопичилися у ґрунті може суттєво впливати на основні цінні господарські ознаки сояшника[39].

Ступінь фітотоксичного впливу гербіцидів на сояшнику залежить від кількох ключових факторів, включаючи тип ґрунту, погодні умови, такі як опади, норми внесення гербіцидів, толерантність генотипу сояшнику, а також додавання поверхнево-активних речовин під час внесення гербіцидів. Встановлено, що фітотоксичність гербіцидів сприяє суттєвим втратам урожаю сояшнику, що коливаються у межах

16–45 % при стандартних нормах гербіцидів до повної втрати врожаю при високих концентраціях діючої речовини [31–34, 40].

**Класифікація гербіцидів та їх особливості застосування на соняшнику.** Гербіциди поділяють на кілька основних груп залежно від механізму дії. Гербіциди-регулятори росту (синтетичні ауксини), зокрема 2,4-D, порушують гормональний баланс рослин через ауксиноподібну активність та застосовуються переважно для контролю дводольних бур'янів.

Інгібітори росту проростків, до яких належать тіокарбамати, амідні кислот і динітроаніліни, пригнічують ріст пагонів і коренів, порушують клітинний поділ та функціонування меристем.

Інгібітори фотосинтезу (триазини, мідьвмісні пестициди) блокують транспорт електронів у фотосистемі II, що призводить до пригнічення синтезу вуглеводів і руйнування клітинних мембран. Зокрема, атразин конкурує з пластохіноном II у фотосистемі II, а іони міді здатні порушувати електронний транспорт та функціонування хлорофілу [44, 58].

Інгібітори біосинтезу амінокислот блокують синтез життєво важливих амінокислот. Наприклад, гліфосат пригнічує утворення тирозину, триптофану та фенілаланіну. Окремі класи гербіцидів також інгібують ацетогідроксикислотсинтазу, 4-гідроксифенілпіруватдіоксигеназу або глутамінсинтазу, порушуючи синтез амінокислот і каротиноїдів [44, 46–47].

Контроль бур'янів у посівах соняшнику історично був складним завданням через обмежену кількість зареєстрованих гербіцидів, дозволених для застосування на цій культурі. Особливо серйозною проблемою у технології вирощування соняшнику залишається контроль дводольних бур'янів, оскільки низка гербіцидів, що застосовуються на цій культурі, забезпечує лише часткове пригнічення широколистих видів і рідко досягає повної ефективності [41].

Традиційна система захисту соняшнику від бур'янів зазвичай ґрунтується на внесенні досходових гербіцидів, а також обмеженої кількості післясходових препаратів проти дводольних бур'янів з метою зниження рівня забур'яненості посівів. Створення генетично стійких гібридів соняшнику стало важливим досягненням у селекції та в цілому сільському господарстві. Наявність гербіцидної толерантності нині розглядається як цінна селекційна ознака в програмах селекції соняшнику, оскільки вона розширює спектр гербіцидів, які можна застосовувати в посівах культури на різних етапах її росту й розвитку, зокрема сучасних препаратів із груп імідазолінонів (IMI) та сульфонілсечовин (SU) [42, 43]. Гербіцидні препарати в технології захисту соняшнику класифікуються на три основні категорії за часом застосування: передпосівні, довсходові та післясходові.

Передпосівні гербіциди застосовують до посіву основної культури. До таких препаратів належить, зокрема, гліфосат, який використовують для знищення бур'янів перед сівбою [44]. Гербіциди суцільної дії також можуть вноситися навесні перед посівом або безпосередньо під час сівби [45].

Досходові гербіциди спрямовані на контроль злакових і широколистих бур'янів та вносяться на поверхню ґрунту, де вони утворюють тонку плівку [44]. Ці ґрунтові гербіциди застосовують до появи сходів проти однорічних і багаторічних однодольних, а також деяких однорічних дводольних бур'янів [45]. У посівах соняшнику досходові гербіциди зазвичай механічно загортають у верхній шар ґрунту на глибину 5–7,5 см, при цьому вибір препарату залежить від видового складу бур'янів [46]. Такі досходові гербіциди, як S-метолахлор і диметенамід, ефективно контролюють однорічні злакові бур'яни та окремі дрібнонасінні широколисті види. Для їх належної ефективності необхідне випадання опадів упродовж 7–10 днів після внесення, що забезпечує переміщення діючої речовини в активну зону проростання насіння бур'янів [47].

Післясходові гербіциди за характером дії можуть бути селективними (спрямованими на окремі види бур'янів) або неселективними (широкого спектра дії) [44]. Сучасні гербіцидні системи у посівах соняшнику характеризуються істотним розширенням асортименту препаратів, придатних для застосування на ранніх етапах розвитку культури – від фази 2–4 до 6–8 справжніх листків на рослині [48]. Для післясходового контролю бур'янів у посівах класичного соняшнику в період вегетації можуть застосовуватися грамініциди проти багаторічних та однорічних однодольних бур'янів [45]. Зокрема, такі протизлакові гербіциди, як Поаст (сетоксидим) і Селект (клетодим), ефективні проти злакових бур'янів, у тому числі падалиці зернових культур, кукурудзи та сорго [46]. Створення стійких до гербіцидів генотипів соняшнику сприяло контролю бур'янів і навіть вовчка соняшникового через інтегровані системи вирощування.

У виробництві соняшнику домінують дві основні гербіцидостійкі технології. Технологія Clearfield (CL) охоплює гібриди, толерантні до імазамоксу та інших гербіцидів групи імідазолінонів (IMI), тоді як технологія ExpressSun включає гібриди соняшнику, стійкі до трибенурон-метилу та гербіцидів групи сульфонілсечовин (SU) [49].

Для контролю бур'янової рослинності у посівах соняшнику застосовують як ґрунтові, так і страхові гербіциди. Ґрунтові гербіцидні суміші забезпечують формування захисного екрану в орному шарі ґрунту та ефективно пригнічують проростання бур'янів на ранніх етапах розвитку культури. Поєднання пропізахлору з тербутилазином характеризується високою ефективністю проти злакових і широкого

спектра дводольних бур'янів та широко використовується у класичних технологіях вирощування соняшнику. Комбінація прометрину з флуорохлоридом забезпечує синергічну дію, підвищує надійність захисту посівів і знижує ризик формування резистентності бур'янів. Суміш пропізохлору з метрибузином формує тривалий гербіцидний ефект, ефективно контролює падалицю та важковикорінені види бур'янів.

Страхові гербіциди застосовують у період активної вегетації культури, переважно у фазі 2–6 справжніх листків. Бакова суміш трибенурон-метилу з хізалофоп-П-етилом використовується для захисту гібридів, стійких до трибенурон-метилу, та забезпечує одночасний контроль дводольних і злакових бур'янів. Гербіциди на основі імазамоксу та імазапіру застосовують у системах Clearfield і Clearfield Plus, де вони забезпечують широкий спектр дії проти бур'янів, зокрема вовчка соняшникового. Поєднання цих діючих речовин із глуфосинатом підсилює ефективність гербіцидного захисту посівів [50–53, 58, 59].

**Генетичні особливості стійкості соняшника до гербіцидів.** Стійкість гібридів соняшнику до гербіцидів переважно пов'язана з ферментом ацетогідроксикислотсинтазою, також відомим як ацетолактатсинтаза (ALS). Цей фермент каталізує перший етап біосинтезу незамінних амінокислот із розгалуженим ланцюгом, таких як: валіну, лейцину та ізолейцину, необхідних для нормального росту й життєдіяльності рослин. Фермент AHAS/ALS є основною молекулярною ділянкою для двох важливих груп гербіцидів – імідазоліонів і сульфонілсечовин. Механізм їх дії полягає у зв'язуванні з цим ферментом та блокуванні його функціональної активності, що призводить до припинення синтезу амінокислот і, як наслідок, до загибелі рослини [43, 50].

У разі виникнення мутацій у гені, що кодує цей фермент, гербіцид втрачає здатність ефективно зв'язуватися з активним центром ферменту, внаслідок чого рослина зберігає здатність до синтезу амінокислот навіть за наявності гербіцидного навантаження. Такий механізм резистентності має велике практичне значення, оскільки дає змогу застосовувати селективні гербіциди для ефективного контролю бур'янів без негативного впливу на рослини соняшнику [51].

**Альтернативні підходи до застосування гербіцидів.** Виробництво соняшнику зазнає значного негативного впливу через розвиток бур'янів, що може зумовлювати зниження врожайності на 30–50 %, тоді як традиційні гербіцидні технології вирощування супроводжуються низкою проблем, зокрема ушкодженням культури, формуванням резистентності бур'янів та негативним впливом на навколишнє середовище. У зв'язку з цим виникає потреба у впровадженні альтернативних стратегій контролю бур'янів, здатних

забезпечити ефективне регулювання забур'яненості з одночасним зменшенням негативного впливу на культуру та екологію [13, 18, 27–28].

Знижені норми гербіцидів (50–75 % від стандартних доз) можуть забезпечувати належну ефективність контролю бур'янів за умови їх поєднання з ад'ювантами, або підвищеними нормами висіву. Разом із тим, результативність застосування знижених норм гербіцидів у технології вирощування соняшнику значною мірою залежить від правильності їх інтеграції в систему захисту культури та поєднання з додатковими агротехнічними прийомами. Результати досліджень свідчать, що зниження норм внесення від 50 % до 75 % від рекомендованих без належного технологічного супроводу часто не забезпечує стабільного довготривалого контролю бур'янів, що може сприяти збільшенню їх популяцій та сповільненню зменшення запасів насіння бур'янів у ґрунті [52].

Створення гербіцидостійких гібридів соняшнику суттєво розширило можливості селективного контролю бур'янів, зменшуючи ризик ушкодження культури внаслідок гербіцидного навантаження. Одним із найвагоміших досягнень у цій сфері стала технологія Clearfield, ефективність якої підтверджена результатами польових досліджень, де успішний контроль бур'янів забезпечувався за використання імазапіру у фазах розвитку соняшнику V4–V6 [53].

Додавання поживних компонентів може підвищувати селективність гербіцидів і їх ефективність проти резистентних видів бур'янів. Зокрема, внесення сульфату амонію посилює ефективність контролю бур'янів, стійких до інгібіторів ALS, у разі застосування гербіцидів, що містять кислотні фрагменти, зокрема похідних дикамби та інгібіторів HPPD [54]. Такий підхід сприяє подоланню резистентності бур'янів, одночасно зберігаючи безпечність для культури завдяки покращенню поглинання та біологічної активності гербіциду [54].

Інтегровані системи управління бур'янами поєднують кілька методів контролю з метою зменшення залежності від гербіцидів при одночасному забезпеченні ефективного регулювання забур'яненості протягом усього вегетаційного періоду соняшнику. Такі підходи ґрунтуються на розумінні того, що хімічний контроль бур'янів за допомогою досходових або післясходових гербіцидів може бути доцільним у випадках, коли своєчасне механічне прополювання є неможливим через нестачу трудових ресурсів або несприятливі ґрунтові умови, однак його ефективність може бути суттєво підвищена за рахунок інтеграції з іншими агротехнічними заходами [55].

Технології точного землеробства є важливим досягненням у напрямі зменшення використання гербіцидів за одночасного збереження ефективного контролю бур'янів у посівах соняшнику. Стрічковий спосіб внесення передбачає застосування гербіцидів лише в зоні рядків посіву,

що охоплює близько 40 % загальної площі поля, тоді як решта 60 % підтримується у чистому від бур'янів стані за допомогою механічних міжрядних обробітків, що є екологічно прийнятною альтернативою вирощування культури [56].

Втім, на сьогодні одним із найбільш ефективних методів зменшення внесення доз гербіцидів є сівозміна, що служить основним агротехнічним методом для зниження впливу бур'янів та залежності від гербіцидів у системах виробництва соняшнику. Наприклад, вирощування соняшнику після сої за деякими науковими джерелами, може допомогти знизити шкодочинність бур'янів у полі шляхом порушення життєвих циклів бур'янів та створення різних агроценозів [57].

**Висновки.** Узагальнення літературних джерел свідчить, що гербіциди відіграють ключову роль у сучасних технологіях вирощування соняшника, забезпечуючи ефективний контроль бур'янів і підвищення врожайності культури. Водночас їх застосування супроводжується ризиком прояву фітотоксичності, що може негативно впливати на ріст, розвиток рослин та основні елементи структури врожаю.

Встановлено, що ступінь негативного впливу гербіцидів залежить від діючої речовини, норм внесення, погодних умов та генотипу рослин. За несприятливих умов можливе суттєве зниження продуктивності, аж до значних втрат урожаю. Це підкреслює необхідність раціонального та науково обґрунтованого використання гербіцидів.

Актуальність теми зумовлена також зростанням резистентності бур'янів і екологічними ризиками, що стимулює пошук альтернативних підходів, зокрема інтегрованих систем захисту, знижених норм внесення препаратів та впровадження гербіцидостійких гібридів. Таким чином, оптимізація застосування гербіцидів є важливим напрямом підвищення ефективності та екологічної безпеки виробництва соняшника.

**Конфлікт інтересів.** Автори повідомляють про відсутність конфлікту інтересів.

#### **Список використаних джерел**

1. Abumere V. I., Dada O. A., Adebayo A. G., Kutu F. R., Togun A. O. Different rates of chicken manure and NPK 15-15-15 enhanced performance of sunflower (*Helianthus annuus* L.) on ferruginous soil. *International Journal of Agronomy*. 2019. Vol. 2019. Article 3580562. DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/3580562>

2. Anushree S., André M., Guillaume D., Frédéric F. Stearic sunflower oil as a sustainable and healthy alternative to palm oil: A review. *Agronomy*

for Sustainable Development. 2017. Vol. 37, No. 1. P. 1-10. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0426-x>

3. Chuiko D. Plant growth regulator effects on sunflower parents and F1 hybrids. *Žemės ūkio mokslai*. 2021. Vol. 28, No. 2. DOI: <https://doi.org/10.6001/zemesukiomokslai.v28i2.4508>

4. Тимчишин О., Рудацька Н. Соняшник: сучасний стан виробництва та вимоги до умов вирощування. *Агронаука і практика*. 2022. Т. 1, № 2. С. 14-18. DOI: <https://doi.org/10.32636/agroscience.2022-1-2-2>

5. Saylak S., Irmak S., Eskridge K. M., Dweikat I. Sunflower germplasm's response to different water and salinity stress levels in greenhouse and field conditions under subsurface drip irrigation. *Irrigation and Drainage*. 2025. Vol. 74, No. 1. P. 161-181. DOI: <https://doi.org/10.1002/ird.2977>

6. Ameen M., Zia M. A., Najeeb Alawadi H. F., Naqve M., Mahmood A., Shahzad A. N. et al. Exogenous application of selenium on sunflower (*Helianthus annuus* L.) to enhance drought stress tolerance by morpho-physiological and biochemical adaptations. *Frontiers in Plant Science*. 2024. Vol. 15. Article 1427420. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1427420>

7. Rani R., Sheoran R., Sharma B. Perspectives of breeding for altering sunflower oil quality to obtain novel oils. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2017. Vol. 6, No. 8. P. 949-962. DOI: <http://dx.doi.org/10.20546/ijcmas.2017.602.117>

8. Димитров С. Г. Стабільність та пластичність сучасних гібридів соняшнику. *Збірник наукових праць ННЦ Інститут землеробства НААН*. 2015. № 3. С. 117-124.

9. Chuiko D., Kryvoruchenko R. Ecological plasticity and stability of confectionery sunflower varieties in the Eastern Forest-Steppe of Ukraine. *Scientific Progress & Innovations*. 2023. Vol. 26, No. 3. P. 26-30. DOI: <https://doi.org/10.31210/spi2023.26.03.05>

10. FAOSTAT. Crops and livestock products: Sunflower seed [Електронний ресурс]. 2025. Режим доступу: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize> (дата звернення: 20.03.2025).

11. Чуйко Д. В., Кириченко В. В., Білик В. В. Агробіологічна оцінка гібридів соняшнику в умовах Східної України. *Селекція і насінництво*. 2025. № 127. С. 56-67. DOI: <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2025.333766>

12. Abdollahdokht D., Gao Y., Famaraz S., Poustforoosh A., Abbasi M., Asadikaram G., Nematollahi M. H. Conventional agrochemicals towards nano-biopesticides: An overview on recent advances. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 2022. Vol. 9, No. 1. Article 13. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40538-021-00281-0>

13. Vats S. Herbicides: History, classification and genetic manipulation of plants for herbicide resistance. In: *Sustainable Agriculture Reviews*. 2014. Vol. 15. P. 153-192. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-09132-7\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-09132-7_3)
14. Aggrawal A. Agrochemical poisoning. In: *Forensic Pathology Reviews*. 2006. P. 261-327.
15. Nandula V. K. Herbicide resistance traits in maize and soybean: Current status and future outlook. *Plants*. 2019. Vol. 8, No. 9. Article 337. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants8090337>
16. Petraki D., Kanatas P., Zannopoulos S., Kokkini M., Antonopoulos N., Gazoulis I., Travlos I. Agroecological weed management and the potential role of fungi-based bioherbicides in conservation. *Conservation*. 2024. Vol. 4, No. 4. P. 847-859. DOI: <https://doi.org/10.3390/conservation4040050>
17. Dekker J. How a simple chloroplast *psbA* gene mutation changed world agriculture. *arXiv*. 2023. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2302.03471>
18. Швартау В. В., Михальська Л. М. Резистентні до гербіцидів біотики бур'янів в Україні. *Доповіді НАН України*. 2022. № 6. С. 85-94. DOI: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2022.06.085>
19. Задорожна І. С. З історії досліджень із захисту кормових культур від бур'янів в Україні. *Корми і кормовиробництво*. 2012. № 74. С. 273-277.
20. Dayan F. E., Duke S. O., Grossmann K. Herbicides as probes in plant biology. *Weed Science*. 2010. Vol. 58, No. 3. P. 340-350. DOI: <https://doi.org/10.1614/WS-09-092.1>
21. Мордерер Є. Ю., Юхимук В. В. Рекомендації щодо комплексного застосування гербіцидів. *Фізіологія рослин і генетика*. 2024. Т. 56, № 2. С. 178-182. DOI: <https://doi.org/10.15407/frg2024.02.178>
22. Kos J., Gonc T., Oravec M., Jendrzewska I., Jampilek J. Photosynthesis-inhibiting activity of N-(disubstituted-phenyl)-3-hydroxynaphthalene-2-carboxamides. *Molecules*. 2021. Vol. 26, No. 14. Article 4336. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules26144336>
23. Duke S. O. Overview of herbicide mechanisms of action. *Environmental Health Perspectives*. 1990. Vol. 87. P. 263-271. DOI: <https://doi.org/10.1289/ehp.9087263>
24. Zulet-Gonzalez A., Gorzolka K., Döll S., Gil-Monreal M., Royuela M., Zabalza A. Phytotoxic effects of glyphosate. *Plants*. 2023. Vol. 12, No. 6. Article 1345. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12061345>
25. Blachnio M., Kusmierk K., Swiatkowski A., Derylo-Marczewska A. Adsorption of phenoxyacetic herbicides. *Molecules*. 2023. Vol. 28, No. 14. Article 5404. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules28145404>
26. Гуральчук Ж. З., Мордерер Є. Ю. Резистентність рослин до ауксиноподібних гербіцидів. *Фізіологія рослин і генетика*. 2017. Т. 49, № 1. С. 3-14.

27. Sobiech Ł., Grzanka M., Skrzypczak G., Idziak R., Włodarczak S., Ochowiak M. Effect of adjuvants and pH adjuster on herbicide efficacy. *Agronomy*. 2020. Vol. 10, No. 4. Article 530. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10040530>
28. Maes C., Meersmans J., Lins L., Bouquillon S., Fauconnier M. L. Essential oil-based bioherbicides. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021. Vol. 22, No. 17. Article 9396. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms22179396>
29. El-Hadary M. H., Chung G. Herbicides - A double-edged sword. In: *Herbicides*. 2013. DOI: <https://doi.org/10.5772/55957>
30. Fetyukhin I. V., Chernenko I. E., Avdeenko I. A. Resistance of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to oxyfluorfen. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 723. Article 022051. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/2/022051>
31. Mazur S., Matusевич H. Influence of soil herbicides on biometric indicators and yield of sunflower. *Balanced Nature Using*. 2023. No. 1. P. 90-96.
32. Navarro-León E., Borda E., Marín C., Sierras N., Blasco B., Ruiz J. M. Application of an enzymatic hydrolysed L- $\alpha$ -amino acid-based biostimulant to improve sunflower tolerance to imazamox. *Plants*. 2022. Vol. 11, No. 20. Article 2761. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11202761>
33. Tichý L., Jursík M., Kolářová M., Hejtnák V., Andr J., Martinková J. Sensitivity of sunflower cultivar PR63E82 to tribenuron and propaquizafop in different weather conditions. *Plant, Soil and Environment*. 2018. Vol. 64, No. 10. P. 479-483. DOI: <https://doi.org/10.17221/343/2018-PSE>
34. Брагін О. М., Чуйко Д. В. Способи підвищення продуктивності ліній соняшника та інших сільськогосподарських культур з використанням регуляторів росту. *Вісник ХНАУ. Серія: Рослинництво, селекція і насінництво, плодовоовочівництво і зберігання*. 2019. № 1. С. 107-117.
35. Jursík M., Kočárek M., Kolářová M., Tichý L. Effect of different soil and weather conditions on efficacy, selectivity and dissipation of herbicides in sunflower. *Plant, Soil & Environment*. 2020. Vol. 66, No. 9. DOI: <https://doi.org/10.17221/223/2020-PSE>
36. Serim A., Maden S. Effects of soil residues of sulfosulfuron and mesosulfuron methyl + iodosulfuron methyl sodium on sunflower varieties. *Journal of Agricultural Sciences*. 2014. Vol. 20, No. 1. P. 1-9. DOI: <https://doi.org/10.15832/tbd.26020>
37. Vidal R. A., Flecks N. G. Injúria potencial de herbicidas de solo ao girassol: IV-rendimento de aquênios e componentes do rendimento. *Planta Daninha*. 1994. Vol. 12. P. 44-51. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83581994000100007>

38. Božić D., Sarić-Krasmanović M., Vrbničanin S. Effects of nicosulfuron on biological production of weedy sunflower (*Helianthus annuus*). *Pesticides and Phytomedicine*. 2019. Vol. 34, No. 3-4. P. 173-181. DOI: <https://doi.org/10.2298/PIF1904173B>

39. Serim A. T., Patterson E. L. Response of conventional sunflower cultivars to drift rates of synthetic auxin herbicides. *PeerJ*. 2024. Vol. 12. Article e16729. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.16729>

40. Добренський О. А., Авраменко С. В. Урожайність гібридів соняшнику залежно від доз страхових гербіцидів в умовах Степу України. *Селекція і насінництво*. 2025. № 128. С. 6-18. DOI: <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2025.347582>

41. Gillen R. *Southwest Research-Extension Center Field Day 2018. Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports*. 2018. Vol. 4, No. 8. Article 28.

42. Rauf S., Warburton M., Naeem A., Kainat W. Validated markers for sunflower (*Helianthus annuus* L.) breeding. *OCL*. 2020. Vol. 27. Article 47. DOI: <https://doi.org/10.1051/ocl/2020042>

43. Лебеденко Є. О., Кириченко В. В. Стійкість соняшнику до гербіцидів широкого спектру дії — новий напрям селекції культури. *Вісник Центру наукового забезпечення АПВ Харківської області*. 2014. № 16. С. 112-120.

44. Gideon K., Samuel O. A., Joseph S., Marius M., Emmanuel H. Effect of linear view approach of weed management in agro-ecosystem: A review. *African Journal of Agricultural Research*. 2021. Vol. 17, No. 2. P. 238–246. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJAR2020.15267>

45. Fetyukhin I. V., Chernenko I. E., Avdeenko I. A. Resistance of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to oxyfluorfen when applied during the growing season. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 723. Article 022051. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/2/022051>

46. Long R., Gulya T., Light S., Bali K., Mathesius K., Meyer R. D. *Sunflower hybrid seed production in California*. 2019. DOI: <https://doi.org/10.3733/ucanr.8638>

47. Pacanoski Z., Mehmeti A. Weed control in sunflower (*Helianthus annuus* L.) with soil-applied herbicides affected by prolonged and limited rainfall. *Agriculture*. 2021. Vol. 27, No. 2. DOI: <https://doi.org/10.18047/poljo.27.2.1>

48. Laptiev A. B., Dolzhenko V. I. Scientific considerations on improving herbicides for sunflower crops. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*. 2017. Vol. 9, No. 2S. P. 1551-1561. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v9i2s.861>

49. Markulj Kulundžić A., Liović I., Sudarić A., Duvnjak T., Matoša Kočar M., Varga I., Mijić A. Morpho-physiological adaptation of sunflower

hybrids to varying plant densities. *Plants*. 2025. Vol. 14, No. 22. Article 3446. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants14223446>

50. Солоденко А. Є., Файт В. І. Маркери гена АНАS1 для використання в селекції соняшнику на стійкість до гербіцидів. *Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія: Біологія*. 2015. № 3. С. 71-75.

51. Bordin E. R., dos Santos F., Mannes Y., de Freitas A. M., Ramsdorf W. A. Single and mixture cytogenetic effects evaluation of atrazine and glyphosate herbicides. *Ecotoxicology and Environmental Contamination*. 2023. Vol. 18, No. 1. P. 38-50. DOI: <https://doi.org/10.5132/eec.2023.01.06>

52. Navea C. Z., Milián F. B., Andújar J. L. G. Herbicidal strategies to control *Phalaris brachystachys* in a wheat–sunflower rotation: A simulation approach. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 2012. Vol. 10, No. 4. P. 1101-1106. DOI: <http://dx.doi.org/10.5424/sjar/2012104-578-11>

53. Tkalich Y., Tkalich I., Tsyliuryk O., Masliiov S. Reserves for increasing the yield of sunflower seeds in the Ukrainian steppe. 2019. DOI: <https://doi.org/10.17707/AgricultForest.65.3.09>

54. Mykhalska L. M., Schwartau V. V. Identification of acetolactate synthase resistant *Amaranthus retroflexus* in Ukraine. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2022. Vol. 13, No. 3. P. 231-240. DOI: <https://doi.org/10.15421/022230>

55. Malidža G., Vrbničanin S., Božić D., Jocić S. Integrated weed management in sunflower: Challenges and opportunities. In: *Proceedings of the 19th International Sunflower Conference*. 2016. P. 90-99.

56. Thambiyannan S., Lingan R., Ramasamy S., Ramasamy K., Rajendhiran N., Nalliappan S., Kulasekaran R. Sustainable integrated weed control strategies to reduce herbicide use in sunflower production. 2024. DOI: <https://doi.org/10.14719/pst.4833>

57. dos Santos E. G., Inoue M. H., Guimarães A. C. D., Bastos J. S. Q., Alcántara-de la Cruz R., Mendes K. F. Influence of chemical control on the floristic composition of weeds in sunflower. *Agrochemicals*. 2023. Vol. 2, No. 2. P. 193-202. DOI: <https://doi.org/10.3390/agrochemicals2020014>

58. Мазур С. О., Матусевич Г. Д. Вплив ґрунтових гербіцидів на біометричні показники та врожайність соняшнику. Збалансоване природокористування. 2023. № 1. Р. 90–96.

59. Kurtiev K. K., Domaratskyi Y. O. Забур'яненість посівів і продуктивність гібридів соняшнику у процесі вирощування за класичною та Clearfield-технологією. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2025. Vol. 21, No. 4. P. 189–196.

## REFERENCES

1. Abumere, V. I., Dada, O. A., Adebayo, A. G., Kutu, F. R., & Togun, A. O. (2019). Different rates of chicken manure and NPK 15-15-15 enhanced

performance of sunflower (*Helianthus annuus* L.) on ferruginous soil. *International Journal of Agronomy*, 2019, 3580562. <https://doi.org/10.1155/2019/3580562>

2. 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), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0426-x>

3. 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>

4. Тимчишин, О., & Рудацька, Н. (2022). Соняшник: сучасний стан виробництва та вимоги до умов вирощування. *Агронаука і практика*, 1(2), 14–18. <https://doi.org/10.32636/agroscience.2022-1-2-2>

5. Saylak, S., Irmak, S., Eskridge, K. M., & Dweikat, I. (2025). Sunflower germplasms' response to different water and salinity stress levels in greenhouse and field conditions under subsurface drip irrigation. *Irrigation and Drainage*, 74(1), 161–181. <https://doi.org/10.1002/ird.2977>

6. Ameen, M., Zia, M. A., Najeeb Alawadi, H. F., Naqve, M., Mahmood, A., Shahzad, A. N., et al. (2024). Exogenous application of selenium on sunflower (*Helianthus annuus* L.) to enhance drought stress tolerance by morpho-physiological and biochemical adaptations. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1427420. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1427420>

7. Rani, R., Sheoran, R., & Sharma, B. (2017). Perspectives of breeding for altering sunflower oil quality to obtain novel oils. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(8), 949–962. <http://dx.doi.org/10.20546/ijcmas.2017.602.117>

8. Димитров, С. Г. (2015). Стабільність та пластичність сучасних гібридів соняшнику. *Збірник наукових праць ННЦ Інститут землеробства НААН*, 3, 117–124.

9. Chuiko, D., & Kryvoruchenko, R. (2023). Ecological plasticity and stability of confectionery sunflower varieties in the Eastern Forest-Steppe of Ukraine. *Scientific Progress & Innovations*, 26(3), 26–30. <https://doi.org/10.31210/spi2023.26.03.05>

10. FAOSTAT. (2025). *Crops and livestock products: Sunflower seed*. Retrieved March 20, 2025, from <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>

11. Чуйко, Д. В., Кириченко, В. В., & Білик, В. В. (2025). Агробіологічна оцінка гібридів соняшнику в умовах Східної України. *Селекція і насінництво*, 127, 56–67. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2025.333766>

12. Abdollahdokht, D., Gao, Y., Faramarz, S., Poustforoosh, A., Abbasi, M., Asadikaram, G., & Nematollahi, M. H. (2022). Conventional agrochemicals towards nano-biopesticides: An overview on recent advances.

*Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 9(1), 13.  
<https://doi.org/10.1186/s40538-021-00281-0>

13. Vats, S. (2014). Herbicides: History, classification and genetic manipulation of plants for herbicide resistance. In *Sustainable agriculture reviews* (Vol. 15, pp. 153–192). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-09132-7\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-09132-7_3)

14. Aggrawal, A. (2006). Agrochemical poisoning. In *Forensic pathology reviews* (pp. 261–327). Humana Press.

15. Nandula, V. K. (2019). Herbicide resistance traits in maize and soybean: Current status and future outlook. *Plants*, 8(9), 337.  
<https://doi.org/10.3390/plants8090337>

16. Petraki, D., Kanatas, P., Zannopoulos, S., Kokkini, M., Antonopoulos, N., Gazoulis, I., & Travlos, I. (2024). Agroecological weed management and the potential role of fungi-based bioherbicides in conservation. *Conservation*, 4(4), 847–859.  
<https://doi.org/10.3390/conservation4040050>

17. Dekker, J. (2023). How a simple chloroplast psbA gene mutation changed world agriculture. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2302.03471>

18. Швартау, В. В., & Михальська, Л. М. (2022). Резистентні до гербіцидів біотици бур'янів в Україні. *Доповіди НАН України*, 6, 85–94.  
<https://doi.org/10.15407/dopovidi2022.06.085>

19. Задорожна, І. С. (2012). З історії досліджень із захисту кормових культур від бур'янів в Україні. *Корми і кормовиробництво*, 74, 273–277.

20. Dayan, F. E., Duke, S. O., & Grossmann, K. (2010). Herbicides as probes in plant biology. *Weed Science*, 58(3), 340–350.  
<https://doi.org/10.1614/WS-09-092.1>

21. Мордерер, Є. Ю., & Юхимук, В. В. (2024). Рекомендації щодо комплексного застосування гербіцидів. *Фізіологія рослин і генетика*, 56(2), 178–182. <https://doi.org/10.15407/frg2024.02.178>

22. Kos, J., Gones, T., Oravec, M., Jendrzewska, I., & Jampilek, J. (2021). Photosynthesis-inhibiting activity of N-(disubstituted-phenyl)-3-hydroxynaphthalene-2-carboxamides. *Molecules*, 26(14), 4336.  
<https://doi.org/10.3390/molecules26144336>

23. Duke, S. O. (1990). Overview of herbicide mechanisms of action. *Environmental Health Perspectives*, 87, 263–271.  
<https://doi.org/10.1289/ehp.9087263>

24. Zulet-Gonzalez, A., Gorzolka, K., Döll, S., Gil-Monreal, M., Royuela, M., & Zabalza, A. (2023). Phytotoxic effects of glyphosate. *Plants*, 12(6), 1345. <https://doi.org/10.3390/plants12061345>

25. Blachnio, M., Kusmierek, K., Swiatkowski, A., & Derylo-Marczewska, A. (2023). Adsorption of phenoxyacetic herbicides. *Molecules*, 28(14), 5404. <https://doi.org/10.3390/molecules28145404>

26. Гуральчук, Ж. З., & Мордерер, Є. Ю. (2017). Резистентність рослин до ауксиноподібних гербіцидів. *Физиология растений и генетика*, 49(1), 3–14.

27. Sobiech, Ł., Grzanka, M., Skrzypczak, G., Idziak, R., Włodarczak, S., & Ochowiak, M. (2020). Effect of adjuvants and pH adjuster on herbicide efficacy. *Agronomy*, 10(4), 530. <https://doi.org/10.3390/agronomy10040530>

28. Maes, C., Meersmans, J., Lins, L., Bouquillon, S., & Fauconnier, M. L. (2021). Essential oil-based bioherbicides. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(17), 9396. <https://doi.org/10.3390/ijms22179396>

29. El-Hadary, M. H., & Chung, G. (2013). Herbicides—A double-edged sword. In *Herbicides*. IntechOpen. <https://DOI: 10.5772/55957>

30. Fetyukhin, I. V., Chernenko, I. E., & Avdeenko, I. A. (2021). Resistance of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to oxyfluorfen. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 723, 022051. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/2/022051>

31. Mazur, S., & Matusevych, H. (2023). Influence of soil herbicides on biometric indicators and yield of sunflower. *Balanced Nature Using*, 1, 90–96.

32. Navarro-León, E., Borda, E., Marín, C., Sierras, N., Blasco, B., & Ruiz, J. M. (2022). Application of an enzymatic hydrolysed L- $\alpha$ -amino acid-based biostimulant to improve sunflower tolerance to imazamox. *Plants*, 11(20), 2761. <https://doi.org/10.3390/plants11202761>

33. Tichý, L., Jursík, M., Kolářová, M., Hejnák, V., Andr, J., & Martinková, J. (2018). Sensitivity of sunflower cultivar PR63E82 to tribenuron and propaquizafop in different weather conditions. *Plant, Soil and Environment*, 64(10), 479–483. <https://doi.org/10.17221/343/2018-PSE>

34. Брагін, О. М., & Чуйко, Д. В. (2019). Способи підвищення продуктивності ліній соняшника та інших сільськогосподарських культур з використанням регуляторів росту. Вісник ХНАУ. Серія: Рослинництво, селекція і насінництво, плодоовочівництво і зберігання, (1), 107-117.

35. Jursík, M., Kočárek, M., Kolářová, M., & Tichý, L. (2020). Effect of different soil and weather conditions on efficacy, selectivity and dissipation of herbicides in sunflower. *Plant, Soil & Environment*, 66(9). <https://doi.org/10.17221/223/2020-PSE>

36. Serim, A., & Maden, S. (2014). Effects of soil residues of sulfosulfuron and mesosulfuron methyl + iodosulfuron methyl sodium on sunflower varieties. *Journal of Agricultural Sciences*, 20(1), 1–9. <https://doi.org/10.15832/tbd.26020>

37. Vidal, R. A., & Flecks, N. G. (1994). Injúria potencial de herbicidas de solo ao girassol: IV—rendimento de aquênios e componentes do rendimento. *Planta Daninha*, 12, 44–51. <https://doi.org/10.1590/S0100-83581994000100007>

38. Božić, D., Sarić-Krasmanović, M., & Vrbničanin, S. (2019). Effects of nicosulfuron on biological production of weedy sunflower (*Helianthus annuus*). *Pesticides and Phytomedicine*, 34(3–4), 173–181. <https://doi.org/10.2298/PIF1904173B>
39. Serim, A. T., & Patterson, E. L. (2024). Response of conventional sunflower cultivars to drift rates of synthetic auxin herbicides. *PeerJ*, 12, e16729. <http://doi.org/10.7717/peerj.16729>
40. Добренський, О. А., & Авраменко, С. В. (2025). Урожайність гібридів соняшнику залежно від доз страхових гербіцидів в умовах Степу України. *Селекція і насінництво*, 128, 6–18. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2025.347582>
41. Gillen, R. (2018). Southwest Research-Extension Center Field Day 2018. *Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports*, 4(8), 28.
42. Rauf, S., Warburton, M., Naeem, A., & Kainat, W. (2020). Validated markers for sunflower (*Helianthus annuus* L.) breeding. *OCL*, 27, 47. <https://doi.org/10.1051/ocl/2020042>
43. Лебеденко, Є. О., & Кириченко, В. В. (2014). Стійкість соняшнику до гербіцидів широкого спектру дії — новий напрям селекції культури. *Вісник Центру наукового забезпечення АПВ Харківської області*, 16, 112–120.
44. Gideon, K., Samuel, O. A., Joseph, S., Marius, M., & Emmanuel, H. (2021). Effect of linear view approach of weed management in agroecosystem: A review. *African Journal of Agricultural Research*, 17(2), 238–246. <https://doi.org/10.5897/AJAR2020.15267>
45. Fetyukhin, I. V., Chernenko, I. E., & Avdeenko, I. A. (2021). Resistance of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to oxyfluorfen when applied during the growing season. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 723, 022051. <https://doi:10.1088/1755-1315/723/2/022051>
46. Long, R., Gulya, T., Light, S., Bali, K., Mathesius, K., & Meyer, R. D. (2019). *Sunflower hybrid seed production in California*. <https://doi.org/10.3733/ucanr.8638>
47. Pacanoski, Z., & Mehmeti, A. (2021). Weed control in sunflower (*Helianthus annuus* L.) with soil-applied herbicides affected by prolonged and limited rainfall. *Agriculture*, 27(2). <https://doi.org/10.18047/poljo.27.2.1>
48. Laptiev, A. B., & Dolzhenko, V. I. (2017). Scientific considerations on improving herbicides for sunflower crops. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 9(2S), 1551–1561. <http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v9i2s.861>
49. Markulj Kulundžić, A., Liović, I., Sudarić, A., Duvnjak, T., Matoša Kočar, M., Varga, I., & Mijić, A. (2025). Morpho-physiological adaptation of sunflower hybrids to varying plant densities. *Plants*, 14(22), 3446. <https://doi.org/10.3390/plants14223446>
50. Солоденко, А. Є., & Файт, В. І. (2015). Маркери гена AHAS1 для використання в селекції соняшнику на стійкість до гербіцидів.

Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія: Біологія, 3, 71–75.

51. Bordin, E. R., dos Santos, F., Mannes, Y., de Freitas, A. M., & Ramsdorf, W. A. (2023). Single and mixture cytogenetic effects evaluation of atrazine and glyphosate herbicides. *Ecotoxicology and Environmental Contamination*, 18(1), 38–50. <https://doi.org/10.5132/eec.2023.01.06>

52. Navea, C. Z., Milián, F. B., & Andújar, J. L. G. (2012). Herbicidal strategies to control *Phalaris brachystachys* in a wheat–sunflower rotation: A simulation approach. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 10(4), 1101–1106. <http://dx.doi.org/10.5424/sjar/2012104-578-11>

53. Tkalich, Y., Tkalich, I., Tsyliuryk, O., & Masliiov, S. (2019). Reserves for increasing the yield of sunflower seeds in the Ukrainian steppe. <http://DOI: 10.17707/AgricultForest.65.3.09>

54. Mykhalska, L. M., & Schwartz, V. V. (2022). Identification of acetolactate synthase resistant *Amaranthus retroflexus* in Ukraine. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 13(3), 231–240. <https://doi.org/10.15421/022230>

55. Malidža, G., Vrbničanin, S., Božić, D., & Jocić, S. (2016). Integrated weed management in sunflower: Challenges and opportunities. In *Proceedings of the 19th International Sunflower Conference* (pp. 90–99). International Sunflower Association.

56. Thambiyannan, S., Lingan, R., Ramasamy, S., Ramasamy, K., Rajendhiran, N., Nalliappan, S., & Kulasekaran, R. (2024). Sustainable integrated weed control strategies to reduce herbicide use in sunflower production. <https://doi.org/10.14719/pst.4833>

57. dos Santos, E. G., Inoue, M. H., Guimarães, A. C. D., Bastos, J. S. Q., Alcántara-de la Cruz, R., & Mendes, K. F. (2023). Influence of chemical control on the floristic composition of weeds in sunflower. *Agrochemicals*, 2(2), 193–202. <https://doi.org/10.3390/agrochemicals2020014>

58. Мазур, С. О., & Матусевич, Г. Д. (2023). Вплив ґрунтових гербіцидів на біометричні показники та врожайність соняшнику. *Збалансоване природокористування*, (1), 90-96.

59. Kurtiev, K. K., & Domaratskyi, Y. O. (2025). Забур'яненість посівів і продуктивність гібридів соняшнику у процесі вирощування за класичною та Clearfiled-технологією. *Plant varieties studying and protection*, 21(4), 189-196.

Отримано: 07.04.2026. Прийнято: 16.04.2026. Опубліковано: 22.05.2026.