

УДК 632.954:631.811.98:633.15

Вахняк В. С.

кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри землеробства, ґрунтознавства та захисту рослин,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: wastep@meta.ua
ORCID: 0000-0002-3436-8685

Баранник А. В.

кандидат географічних наук,
докторант кафедри всесвітньої історії,
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника
Івано-Франківськ, Україна
E-mail: andruha.geograph@gmail.com
ORCID: 0000-0001-7303-4816

ОПТИМІЗАЦІЯ СПІЛЬНОГО ЗАСТОСУВАННЯ ГЕРБІЦИДІВ І БІОСТИМУЛЯТОРІВ У ПОСІВАХ КУКУРУДЗИ

Анотація

Проблема оптимального поєднання гербіцидів і біостимуляторів у сільському господарстві є актуальною через необхідність підвищення врожайності кукурудзи при мінімізації стресових факторів та економії ресурсів. Упровадження біостимуляторів у систему живлення культур має на меті не лише збільшення врожайності, а й підвищення стресостійкості рослин, зниження негативного впливу гербіцидів і покращення якості продукції. Проте спільне застосування цих препаратів може мати як позитивні, так і негативні наслідки, що вимагає детального вивчення.

Метою дослідження є встановлення особливостей сумісного внесення гербіцидів і біостимуляторів на основі морських водоростей і визначення їх впливу на врожайність кукурудзи в умовах Правобережного Лісостепу України. Для цього проведено серію польових експериментів з використанням різних комбінацій гербіцидів і біостимуляторів з метою оцінювання їх ефективності й доцільності застосування.

Дослідження проводили впродовж 2022–2024 рр. на території підприємства ТОВ «Агро-Слава 2017» Хмельницької обл., Кам'янець-Подільського району.

У статті досліджено особливості спільного застосування гербіцидів і біостимуляторів у посівах кукурудзи. Проаналізовано їхню взаємодію та вплив на врожайність і якість зерна. Установлено, що ефективність поєднання гербіцидів і біостимуляторів залежить від складу препаратів і їхнього впливу на фізіологічні процеси рослин. Найвищу врожайність забезпечило застосування комбінації гербіцидів римсульфурон + 2,4-D + флорасулам, що дало змогу ефективно контролювати бур'яни, особливо дводольні. Додавання біостимуляторів до гербіцидів продемонструвало неоднозначні результати: в одних випадках вони сприяли покращенню структури врожаю, а в інших – посилювали гербіцидний стрес.

Біостимулятори на основі морських водоростей впливали на формування кількості качанів на одній рослині, особливо біостимулятор 2, що містить насичений комплекс фітогормонів. Проте додаткові качани часто залишалися недорозвиненими, що не завжди призводило до зростання врожайності. Водночас біостимулятор 1 позитивно впливав на структурні елементи врожаю, такі як кількість рядів зерен, тоді як комбінації з гербіцид + біостимулятор 2 хоча й сприяли активному росту рослин, але знижували якісні показники врожайності.

Установлено, що комбінація гербіцидів на основі 2,4-D з біостимуляторами, які містять природні ауксини, може викликати синергічний фітотоксичний ефект. У деяких випадках спостерігалось зниження врожайності через порушення гормонального балансу й посилення гербіцидного стресу.

Отримані результати підкреслюють необхідність подальших досліджень щодо взаємодії гербіцидів і біостимуляторів, особливо в контексті підвищення стійкості рослин до стресових факторів і покращення якісних характеристик врожаю. Упровадження раціональних схем застосування цих препаратів може забезпечити ефективний контроль бур'янів при мінімізації негативного впливу на культуру.

Ключові слова: гербіцид, біостимулятор, кукурудза, урожайність, фітотоксичність, екстракт морських водоростей, сульфонілсечовина.

Вступ. Використання біостимуляторів дедалі частіше стає складником практики інтенсивного вирощування багатьох польових культур. Добре відомо, що біостимулятори мають різноманітну природу (від окремої сполуки до суміші мікроорганізмів чи фітогормональних препаратів на основі екстракту морських водоростей), а їх вплив на рослинні процеси є різноманітним (від підвищення стійкості до абіотичного стресу, покращення ефективності використання Нітрогену), що, в кінцевому підсумку, впливає на збільшення врожайності [6; 10]. З огляду

на ці особливості, існує багато робіт, присвячених визначенню найефективнішої фази застосування цих продуктів у системі живлення культур [25], але вона переважно збігається в часі з періодом унесення гербіцидів [13].

Біостимулятори є перспективною стратегією для підвищення продуктивності рослин і збільшення їхньої стійкості до абіотичних стресів, таких як низькі й високі температури, посуха, засолення та дефіцит елементів живлення [6; 19; 24]. Вони покращують живлення рослин і частково зменшують потребу внесення мінеральних добрив, водночас сприяючи покращенню росту рослин і якості врожаю [12; 18].

Біостимулятори й гербіциди здебільшого використовуються окремо в послідовних застосуваннях, щоб уникнути можливих несприятливих наслідків їхньої прямої взаємодії. Але проведено значну кількість досліджень їх використання у вигляді змішаних бакових сумішей із гербіцидами. При цьому особлива увага звертається на форму і склад біостимуляторів, що є визначальним при спільному внесенні з гербіцидами. Якщо біостимулятори мікробні, їх використання в поєднанні з гербіцидами потребує оцінювання впливу хімічних складових гербіцидів на живі мікроорганізми. Відомо, що багато діючих речовин гербіцидів порушує баланс мікробного складника ґрунту, тоді як інші не мають такого впливу [7]. Наприклад, дослідження показали, що атразин знижує різноманіття бактеріальних популяцій у ґрунтах, де вирощується кукурудза [26]. Крім того, сульфонілсечовина зменшувала кількість бактерій у ризосфері озимої пшениці [5], а мезотріон знижував чисельність ґрунтових мікроорганізмів [11].

Немікробні біостимулятори, які переважно є органічними сполуками, також взаємодіють із компонентами гербіцидів, але цей ефект значною мірою залежить від хімічного складу біостимулятора [22]. Наприклад, білки з низькою молекулярною масою можуть сприяти збільшенню чисельності ґрунтових мікроорганізмів, яких пригнічують гербіциди, тоді як білки з високою молекулярною масою впливають менше [16]. До того ж результати досліджень показали, що токсичний вплив суміші гербіцидів 2,4-D, MCPA й дикамби на ферментативну активність ґрунту був значно знижений при застосуванні біостимуляторів з високою концентрацією амінокислот [23].

Застосування гербіцидів може завдавати шкоди культурам залежно від діючої речовини, норми й часу внесення, а також методу застосування [3]. У сільськогосподарській практиці для зменшення шкідливого впливу гербіцидів на рослини без зниження їх ефективності використовують сполуки, що називаються антидотами [3; 15]. Багато біостимуляторів підвищують стійкість рослин до різних типів абіотичних стресів і їх можна використовувати як потенційні антидоти [4; 15].

К. Матисяк та ін. оцінили взаємодію гербіцидів, які імітують ауксини, та інгібіторів ацетолактатсинтази (ALS) – MCPA + дикамба, дикамба + тріасульфурон і флорасулам + 2,4-D із біостимуляторами на основі морських водоростей і нітрофенолами з інтервалом у три дні між застосуваннями на посівах ярої пшениці. Вони також оцінили їх поєднання в баковій суміші на стадії BBCH 30. У разі боротьби з бур'янами бакові суміші не показали статистично значущих відмінностей. Винятками були лише використання дикамби + тріасульфурону з додаванням біостимулятора на основі морських водоростей проти *Veronica agrestis* і флорасулам + 2,4-D у баковій суміші з екстрактом морських водоростей або сполукою нітрофенолу проти *Veronica agrestis* і *Viola arvensis*, які змогли забезпечити середній рівень контролю цих видів бур'янів. Застосування бакових сумішей гербіцидів і біостимуляторів не дало значущих результатів, які могли б стати основою для подальших досліджень [14].

Варто відмітити й дослідження Де Андраде та ін. на посівах сої. Вони тестували екстракти морських водоростей у поєднанні із системними гербіцидами суцільної дії на RR-сої (стійка до гліфосату), оскільки навіть у стійких сортів можуть проявлятися симптоми фітотоксичності. У польовому експерименті на RR-сої виявили, що формуляції екстрактів морських водоростей з гербіцидом (спільне внесення) можуть значно підвищувати врожайність сої порівняно із самостійним застосуванням гліфосату. Зазвичай гербіциди суцільної дії викликають небажані симптоми стресу через свою тотальну дію. Тому використання біостимуляторів на основі морських водоростей для підтримки стійких до гліфосату сортів сої видається дуже перспективним [8; 9].

Масштабні досліді різних поєднань гербіцидів і біостимуляторів провели Н. Солтані й ін. на 37 полях із трьома культурами (пшениця й овес озимі, кукурудза). Вони встановили, що додавання біостимуляторів не впливало на ступінь пошкодження культур гербіцидами та лише в окремих випадках негативно позначалося на контролі бур'янів. Це свідчить про те, що поєднання гербіцидів із біостимуляторами в баковій суміші може не дати очікуваних результатів, які можуть бути досягнуті при окремому застосуванні цих продуктів [20].

Д. Балабанова й ін. досліджували вплив амінокислотного комплексу в баковій суміші з імазамоксом на стійкість соняшнику до цього гербіциду. Вони виявили, що ця комбінація забезпечує збільшення сирової ваги, висоти рослин і площі листя соняшнику через 14 днів після застосування порівняно із соняшником, до якого застосовували лише гербіцид, що доводить потенційну можливість використання біостимуляторів як антидоту. Проте вони також зазначили зменшення параметрів газообміну листя на дослідній ділянці [4]. У дослідженнях Е. Navarro-Leon та ін. також встановлено, що амінокислотний комплекс, унесений окремо чи в баковій суміші, ослаблює стрес соняшнику від імазамоксу, що можливо за рахунок забезпечення рослин азотомісними сполуками, які біостимулятори постачають для подолання стресових ефектів гербіциду [15].

І. Панфілі й ін. використали екстракт морських водоростей у баковій суміші з метолахлором для підвищення стійкості кукурудзи до гербіциду. Підтверджено підвищення врожайності кукурудзи від додавання екстракту морських водоростей до суміші навіть при високих дозах метолахлору [17].

Цікаві також досліді з оцінювання впливу різних комбінацій доз гумінових кислот із сульфонілсечовиною і трибенурон-метилом у баковій суміші на продуктивність озимої пшениці. Виявлено, що токсичний вплив гербіциду на пшеницю знижувався при додаванні гумінових кислот у суміш. Урожайність пшениці зросла в усіх варіантах, де гумінові кислоти додавали до гербіциду, порівняно з контролем. У другий рік експерименту комбінація гумінові кислоти в нормі 4 л/га і трибенурон-метил у дозі 15 г/га показала найкращі результати серед усіх варіантів. На думку дослідників, можливим поясненням зменшення фітотоксичності є підвищена мобілізація фосфору рослинами через активацію мікробіоти ризосферної зони [5].

Проте існують випадки, коли біостимулятори не змогли зменшити симптоми токсичності гербіцидів. У польовому експерименті на білій квасолі Н. Солтані й ін. застосували різні гербіциди у баковій суміші з двома біостимуляторами, проте в більшості цих комбінацій не виявлено значних відмінностей розвитку рослин і врожайності [21].

Кількість досліджень біостимуляторів постійно зростає, але й збільшується застосування їх у сільськогосподарській практиці. Сьогодні знання про взаємодію біостимуляторів і гербіцидів усе ще обмежені, адже в таких складних системах дуже важко виявити синергічні й антагоністичні взаємозв'язки, що спонукає до поглиблення та розширення досліджень.

Мета роботи полягає в установленні впливу особливостей сумісного внесення гербіцидів + біостимулятор на основі морських водоростей на врожайність кукурудзи в умовах Правобережного Лісостепу України. Актуальність дослідження: упровадження біостимуляторів у техніку вирощування має на меті збільшення врожайності за оптимального підвищення собівартості. Із цієї причини актуально мати нові результати досліджень із нейтральними або навіть негативними висновками щодо ефектів біостимулятор + гербіцид, що можуть сприяти кращому розумінню їх функцій і точнішому визначенню їх оптимальних умов для застосування на посівах кукурудзи.

Дослідження проводили впродовж 2022–2024 рр. на території підприємства ТОВ «Агро-Слава 2017» Кам'янець-Подільського району Хмельницької області.

Грунт темно-сірий лісовий середньоосуглинковий близький до нейтрального з умістом гумусу в шарі 0–20 см 3,1%, азоту – 84 мг/кг ґрунту (за Корнфілдом), рухомого фосфору – 54 мг/кг ґрунту (за Чириковим), обмінного калію – 162 мг/кг ґрунту (за Чириковим).

Культура: кукурудза ДКС 315 ФАО 310, норма висіву 70 тис./га; строк сівби – 2–5 травня залежно від умов року. Попередник – озимий ріпак. Повторність польового досліді – триразова. Розміщення варіантів і повторень – систематичне. Посівна площа ділянки – 28 м², облікова – 14 м².

Схема удобрення: 150 кг/га NPK 16-16-16 під осінню культивування; 150 кг/га аміачної селітри та 50 кг/га суперфосфату простого при посіві.

Для досліді обрані найпоширеніші гербіциди, що використовуються на кукурудзі, і біостимулятори на основі екстракту морських водоростей, а також їх різні комбінації, виходячи з практичних норм (таблиця 1). Проводили фоліарне внесення препаратів у фазу 5–7 листків (BBCH – 15–17) ручним обприскувачем.

Таблиця 1. Перелік препаратів у досліді

Препарат	Хімічна група	Склад	Норма
Гербіцид 1	Сульфонілсечовини, трикетони	Нікосульфурон (30 г/л) + мезотріон (75 г/л)	1,7 л/га
Гербіцид 2	Сульфонілсечовини	Форамсульфурон (31,5 г/л) + йодосульфурон (1,0 г/л) + тіенкарбазон-метил (10 г/л) + ципросульфамід (антидот) (15 г/л)	1,5 л/га
Гербіцид 3	Сульфонілсечовини	римсульфурон (250 г/кг)	50 г/га
Гербіцид 4	Триазолпіримідини, похідні арилоксиалканкарбонової кислоти	2,4-D 2-етилгексилловий ефір (452,42 г/л) + флорасулам (6,25 г/л)	0,5 л/га
Біостимулятор 1	Біостимулятор на основі морських водоростей додатково збагачений макро- та мікроелементами живлення	Екстракт морських водоростей <i>Undaria Pinnatifida</i> + P ₂ O ₅ (88 г/л) + K ₂ O (59 г/л) + B (1,1 г/л) + Zn-EDTA (3,1 г/л) + L-амінокислоти (61,5 г/л) + фітогормони (ауксини і цитокініни (10,63 мг/л))	1 л/га
Біостимулятор 2	Біостимулятор на основі морських водоростей додатково збагачений макро-, мікроелементами живлення та комплексом фітогормонів	Екстракт морських водоростей <i>Undaria Pinnatifida</i> + K ₂ O (8,93 г/л) + Cu-EDTA (0,78 г/л) + Zn-EDTA (2,23 г/л) + Fe-EDTA (2,23 г/л) + L-амінокислоти (33,5 г/л) + фітогормони (ауксини, цитокініни, гібереліни, брасиностероїди, триактанол + вітаміни групи B (120,88 мг/л))	0,5 л/га

Контролем для кожної комбінації гербіцидів і біостимуляторів було внесення лише гербіциду, абсолютний контроль (без препаратів) не застосовували. Варіанти поєднань включали чотири найпоширеніших на кукурудзі гербіциди і два біостимулятори (таблиця 2).

Фенологічні спостереження за ростом і розвитком кукурудзи проводили в основні фази росту й розвитку культури згідно з методикою державного сортовипробування сільськогосподарських культур [1]. Структуру вро-

Таблиця 2. Комбінації гербіцид + біостимулятор

Ділянка	Варіант	Комбінації	Робочі норми
№ 1	к 1	Гербіцид 1	1,7 л/га
	в 1.1	Гербіцид 1 + Біостимулятор 1	1,7 л/га + 1 л/га
	в 1.2	Гербіцид 1 + Біостимулятор 2	1,7 л/га + 0,5 л/га
№ 2	к 2	Гербіцид 2	1,5 л/га
	в 2.1	Гербіцид 2 + Біостимулятор 1	1,5 л/га + 1 л/га
	в 2.2	Гербіцид 2 + Біостимулятор 2	1,5 л/га + 0,5 л/га
№ 3	к 3	Гербіцид 3	50 г/га
	в 3.1	Гербіцид 3 + Біостимулятор 1	50 г/га + 1 л/га
	в 3.2	Гербіцид 3 + Біостимулятор 2	50 г/га + 0,5 л/га
№ 4	к 4	Гербіцид 3 + Гербіцид 4	50 г/га + 0,5 л/га
	в 4.1	Гербіцид 3 + Гербіцид 4 + Біостимулятор 1	50 г/га + 0,5 л/га + 1 л/га
	в 4.2	Гербіцид 3 + Гербіцид 4 + Біостимулятор 2	50 г/га + 0,5 л/га + 0,5 л/га

жаю аналізували за пробними вибірками з двох несуміжних повторень. Облік урожайності проводився з кожної ділянки методом суцільного обмолоту. Математичний аналіз результатів польових і лабораторних дослідів виконували за допомогою дисперсійного методу.

Виклад основного матеріалу дослідження. На посівах кукурудзи біостимулятори на основі морських водоростей використовують на початкових етапах росту, коли є змога збільшити кількісні показники врожаю з огляду на критичні фази формування майбутнього врожаю:

- фаза 3-го листка – відбувається витягування конуса зростання; утворення вузлів і міжвузлів зачатка стебла;
- 5-й листок – відбувається розгортання зародкового листя, сегментація конуса зростання й формування зачатка осі волоті; паралельно з цим проходить формування листя й погонів качана;
- 7-й лист – відбувається сегментація колосових лопатей волоті й осі зачатка качана, закладання рядів зерен. Тому саме в цей період важливе додаткове підживлення для формування більшої кількості рядів у качані;
- 9-й лист – формування й диференціація квіток волоті, початок формування пилку. Формування качана, закладка зерен у ряду. Другий критичний момент для підживлення, що стимулюватиме закладення більшої кількості зерен у ряді [2].

Але цей період (від 3 до 9 листків) однозначно припадає на гербіцидну обробку. Відповідно, постає питання доцільності спільного внесення суміші біостимулятор + гербіцид, адже, окрім логічної (економія на додатковій операції), повинен бути економічний результат у підвищенні чи зниженні врожайності.

Особливу увагу ми приділили вибору біостимуляторів – спільній біологічно-активній основі, що сприяє підвищенню стресостійкості рослин:

- екстракт морських водоростей *Undaria pinnatifida* – містить індол-алкалоїди, гліцин-бетаїн, полісахариди;
- фітогормони (ауксини й цитокініни), що сприяють активному поділу клітин і їх розтягненню; окрім того, акцент на ауксини сприяє активному росту кореневої системи, що позитивно впливає на засвоєння елементів живлення з ґрунту;
- L-амінокислоти – зумовлюють швидкий ефект підвищення здатності рослини протистояти хворобам і стресовим умовам, а також підвищують ефективність використання препаратів з бакової суміші.

Біостимулятор 1 додатково збагачений фосфором (корекція фосфорного живлення на початкових етапах росту, коли його засвоєння обмежене кореневою системою), калієм і бором (підвищують уміст цукрів, покращують вуглеводневий обмін) і цинком (стимулює вироблення власних ауксинів, що позитивно впливає на розвиток кореневої системи, покращує гормональний баланс молодих рослин).

Біостимулятор 2 додатково збагачений комплексом мікроелементів з акцентом на цинк (корекція мінерального живлення на початкових фазах росту) і додатковим комплексом фітогормонів:

- гіберелінів (GA3) – сильний стимулятор росту вегетативної маси, впливає на розтягнення клітин і проникність клітинної стінки;
- брасиностероїди – активують гормональну складову рослини, сприяють синтезу речовин для підвищення імунітету та стресостійкості рослини;
- триаконтанол – активує діяльність кореневої системи та сприяє розвитку вегетативної маси, підвищує асиміляцію вуглекислого газу й покращує фотосинтез, підвищує ефективність використання основних добрив і вологи рослиною;
- вітаміни групи В – підвищення стресостійкості рослин і покращення процесів дихання.

У складі біостимуляторів, окрім біологічно-активної основи, важливою є наявність цинку, адже у формуванні й виповненості качана саме цей мікроелемент відіграє значну роль.

За результатами дослідження встановлено, що найбільшу біологічну урожайність при перерахунку на стандартну вологість (14%) має дослідна ділянка № 4 де на контролі було поєднання двох гербіцидів римсульфурон

+ 2,4-D + флорасулам, що зумовлено кращим контролем усіх груп бур'янів (злакові, однорічні та багаторічні дводольні) (рис. 1). Додаткове окреме тестування з 2,4-D було недоцільним через відомий антагонізм його поєднання з біостимуляторами на основі морських водоростей, що містять високу концентрацію природних ауксинів, що доведено як власними попередніми неопублікованими дослідженнями, так і науковими публікаціями різних авторів [15; 26].

Гербициди на основі 2,4-D функціонують як синтетичні ауксини, порушуючи умови росту рослини, що, зрештою, призводить до загибелі рослини. Поєднання цих гербицидів з біостимуляторами, які містять високі концентрації природних ауксинів, може створити кілька проблем:

1) синергічна фітотоксичність – оскільки 2,4-D імітує ауксини, додавання більшої кількості ауксинів із біостимуляторів може посилити гормональний дисбаланс, що призведе до надмірного стресу або пошкодження рослин, навіть у культурах, які толерантні до 2,4-D;

2) знижена селективність – 2,4-D часто використовується для боротьби з дводольними бур'янами в посівах зернових та інших однодольних культурах. Якщо ввести додаткові ауксини, це може вплинути на нецільові культури, знизивши селективність гербициду;

3) втручання в гербицидну дію – природні ауксини в біостимуляторах можуть впливати на спосіб дії 2,4-D, прискорюючи детоксикацію бур'янів або змінюючи очікувану реакцію рослин, що призводить до непослідовного контролю бур'янів;

4) непередбачувана реакція культури – високі концентрації екзогенних ауксинів можуть порушити нормальний гормональний баланс у культурах, що призведе до неправильного росту, зниження врожайності або навіть до симптомів, схожих на пошкодження гербицидами.

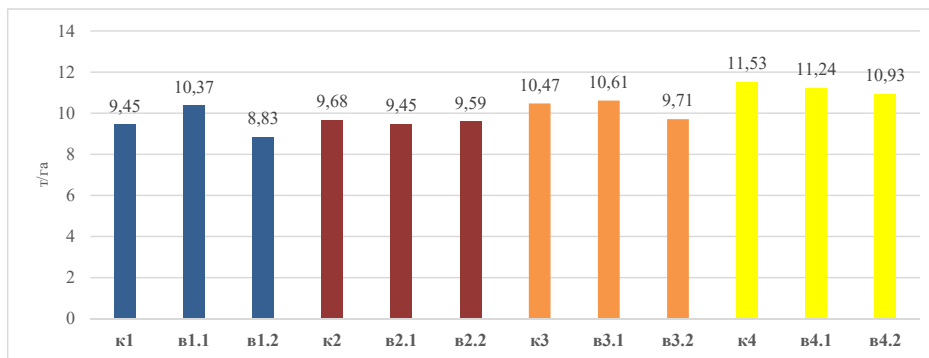


Рис. 1. Показники врожайності кукурудзи (середнє за 2022–2024 роки)

Хоча явних симптомів фітотоксичності на кукурудзі, де в системі гербицидного захисту був доданий гербицид 4, не простежувалося, але зниження врожайності при додаванні біостимуляторів відбулося.

Поєднання гербицид + біостимулятор 1 мало різний ефект на кінцеву врожайність. Збільшення врожайності простежувалося на ділянках № 1 і № 3, тоді як на ділянках № 2 і № 4 ми отримали зменшення урожайності. Така неоднорідність показників урожайності зумовлена специфікою поєднання різних компонентів продуктів в одній баковій суміші: в одних випадках біостимулятор нівелював негативні наслідки гербициду і сприяв покращенню врожайності, а в інших, навпаки, посилив негативну дію.

Простежується чітка закономірність, що порівняно з контролем поєднання гербицид + біостимулятор 2 показало гірший результат у врожайності. Поєднання концентрованого гормонально-вітамінного комплексу (яким за складом є біостимулятор 2) з гербицидами групи сульфонілсечовини чи триазолпіримідинами, похідними арилоксіалканкарбонової кислоти має негативні наслідки: посилене проведення діючої речовини гербицидів у тканини рослин при мінімальному антистресовому ефекту в цьому випадку. Але якщо подивитися на якісні показники урожаю, то простежується ще інша тенденція: збільшення кількості качанів на одній рослині порівняно як із контролем, так і з іншими варіантами (рис. 2). Тобто на гормональному рівні біостимулятор спрацював на інтенсивніше закладення другого качана, але саме така система основного живлення на конкретному агрофоні не мала змоги забезпечити більший врожай.

Загалом простежується чітка тенденція, що додавання біостимуляторів у систему живлення кукурудзи покращує якісні показники урожаю, а саме збільшення кількості качанів на 1 рослині (на рис. 2 наведений перерахунок на 10 рослин для зручності візуалізації). Біостимулятор 1 збільшив цей показник у середньому на 3%, а біостимулятор 2 – на 12,8% (рис. 2).

За рахунок збільшення кількості качанів на 1 рослині поєднання гербицид + біостимулятор 2 мало гірший ефект на інших структурних елементах урожаю, а саме кількості рядів у качану та кількості зерен у ряду, що, в кінцевому підсумку, вплинуло на загальний показник урожайності. Додавання до гербицидів біостимулятора 1 при незначному збільшенні кількості качанів на рослині мало кращий ефект на інші структурні показники врожайності: збільшення кількості рядів порівняно з контролем (ділянки № 1 і № 3) і збільшення зерен у ряду

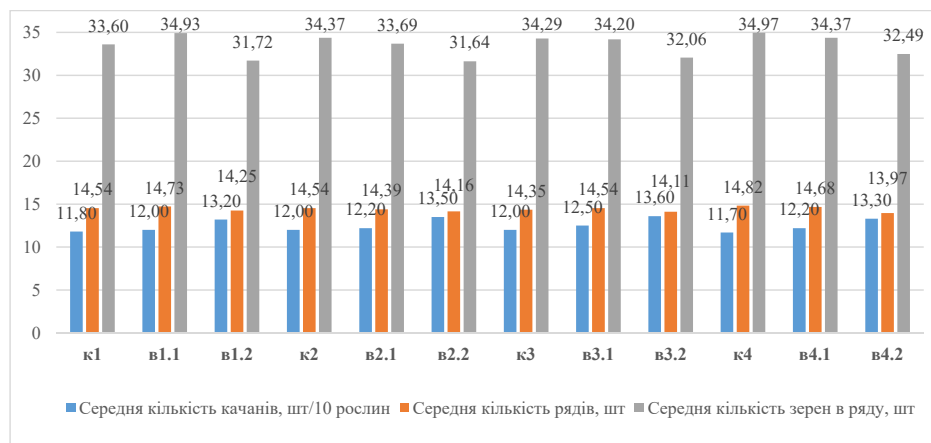


Рис. 2. Якісні показники врожаю кукурудзи (середнє за 2022–2024 роки)

(ділянка № 1). Тобто, іншими словами, на дослідних ділянках, де було поєднання гербіцид + біостимулятор 1, ми мали один повноцінно-розвинений і виповнений качан, що мав кращі показники, ніж на контролі, і зрідка ще 1 недорозвинений, який не мав великого впливу на загальну врожайність, проте мав статистичну похибку на структурні елементи врожаю. На ділянках, де було поєднання гербіцид + біостимулятор 2, ми отримали більшу кількість качанів, але, відповідно, з нижчими якісними структурними показниками урожаю.

Важливим показником є маса 1000 насінин, що характеризує крупність, виповненість, запас поживних речовин у насінні та цінність насіннєвого матеріалу. За цим показником контрольні варіанти (лише гербіцид) є оптимальними, знаходяться в межах 300–353 г і є найвищими серед усіх варіантів у межах дослідних ділянок. Поєднання гербіцид + біостимулятор 1 має негативне відхилення від середнього показника на 3%, а поєднання гербіцид + біостимулятор 2 – середнє негативне відхилення 8,4% від контролю. Ця тенденція може підтверджувати факт, що додаткове стимулювання рослин при недостатньому живленні не матиме належного позитивного ефекту на збільшення кількісних і якісних показників урожаю.

Висновки. Дослідження підтвердило, що ефективність спільного застосування гербіцидів і біостимуляторів на основі морських водоростей у посівах кукурудзи залежить від складу препаратів і їх впливу на фізіологічні процеси рослин.

Найвищу врожайність показала дослідна ділянка, де застосовували комбінацію гербіцидів римсульфурон + 2,4-D + флорасулам, що забезпечило кращий контроль бур'янів, особливо дводольних. Проте додавання біостимуляторів, що містили високу концентрацію природних фітогормонів до цієї схеми, не сприяло подальшому підвищенню врожайності.

Використання біостимуляторів сприяло збільшенню кількості качанів на одній рослині, особливо при застосуванні біостимулятора 2, що містить широкий спектр фітогормонів. Проте це не завжди корелювало зі збільшенням загальної врожайності, оскільки додаткові качани часто виявлялися недорозвиненими.

Додавання біостимуляторів мало змішаний вплив на структуру врожаю: у випадку біостимулятора 1 спостерігалось покращення таких параметрів, як кількість рядів зерен і маса 1000 насінин, тоді як біостимулятор 2 сприяв формуванню більшої кількості качанів, але знижував якісні показники врожайності й характеристики зерна.

Поєднання гербіцидів із біостимуляторами не завжди призводило до підвищення врожайності. У деяких випадках спостерігалось зниження через посилення впливу гербіцидного стресу, особливо при використанні гербіцидів на основі 2,4-D у комбінації з біостимуляторами з високими концентраціями природних ауксинів.

Отримані результати підтверджують необхідність подальших досліджень щодо оптимізації норм внесення й підбору біостимуляторів залежно від конкретних гербіцидів, щоб мінімізувати можливі негативні ефекти й досягти максимальної ефективності інтегрованого підходу до вирощування кукурудзи.

Список використаних джерел

1. Волкодав В.В. Методика державного сортопробування сільськогосподарських культур. Київ, 2000. 100 с.
2. Господаренко Г.М. Система застосування добрив : навчальний посібник. Київ, 2015. 332 с.
3. Abu-Qare A.W., Duncan H.J. Herbicide Safeners: Uses, Limitations, Metabolism, and Mechanisms of Action. *Chemosphere*. 2002. № 48. P. 965–974.
4. Balabanova D.A., Paunov M., Goltsev V. and others. Photosynthetic Performance of the Imidazolinone Resistant Sunflower Exposed to Single and Combined Treatment by the Herbicide Imazamox and an Amino Acid Extract. *Front. Plant Sci.* 2016. № 7. 1559 p.
5. Bezuglova, O.S., Gorovtsov, A.V., Polienko, E.A. and others. Effect of Humic Preparation on Winter Wheat Productivity and Rhizosphere Microbial Community under Herbicide-Induced Stress. *J. Soils Sediments*, 2019. № 19. P. 2665–2675.
6. Bulgari R., Franzoni G., Ferrante A. Biostimulants Application in Horticultural Crops under Abiotic Stress Conditions. *Agronomy*. 2019. № 9. P. 306.

7. Chen J., Yang W., Li J. and others. Effects of Herbicides on the Microbial Community and Urease Activity in the Rhizosphere Soil of Maize at Maturity Stage. *J. Sens.* 2021. Article ID 6649498. DOI: 10.1155/2021/6649498.
8. De Andrade C.L., Da Silva A.G. and others. Performance of soybeans with the application of glyphosate formulations in biostimulant association. *Rev. Caatinga.* 2020. № 33. P. 371–383.
9. De Andrade C.L., Da Silva A.G., Melo G.B. and others. Bioestimulantes Derivados de *Ascochyllum Nodosum* Associados ao Glyphosate nas Características Agronômicas da Soja RR. *Rev. Bras. Herbic.* 2018. № 17. 592 p.
10. Du Jardin P. Plant Biostimulants: Definition, Concept, Main Categories and Regulation. *Sci. Hortic.* 2015. № 196. P. 3–14.
11. Du Z., Zhu Y., Zhu L. and others. Effects of the Herbicide Mesotrione on Soil Enzyme Activity and Microbial Communities. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2018. № 164. P. 571–578.
12. Katsenios N., Andreou V., Sparangis P. and others. Assessment of Plant Growth Promoting Bacteria Strains on Growth, Yield and Quality of Sweet Corn. *Sci. Rep.* 2022. № 12.
13. Li J., Van Gerrewey T., Geelen D. A Meta-Analysis of Biostimulant Yield Effectiveness in Field Trials. *Front. Plant Sci.* 2022. № 13. P. 1–13.
14. Matysiak K., Miziniak W. and others. Herbicides with Natural and Synthetic Biostimulants in Spring Wheat. *Cienc. Rural.* 2018. № 48. e20180405.
15. Navarro-León E., Borda E., Marín C. and others. Application of an Enzymatic Hydrolysed L- α -Amino Acid Based Biostimulant to Improve Sunflower Tolerance to Imazamox. *Plants.* 2022. № 11. 2761.
16. Ortiz-Botella M., Gómez I., Paneque P. and others. Use of Biostimulants Obtained from Okara in the Bioremediation of Soils Polluted by Imazamox. *Bioremediat. J.* 2022. № 26. P. 53–63.
17. Panfili I., Bartucca M.L., Marrollo G. and others. Application of a Plant Biostimulant to Improve Maize (*Zea mays*) Tolerance to Metolachlor. *J. Agric. Food Chem.* 2019. № 67. P. 12164–12171.
18. Rehim A., Amjad Bashir M., Raza Q.-U.-A. and others. Yield Enhancement of Biostimulants, Vitamin B12, and CoQ10 Compared to Inorganic Fertilizer in Radish. *Agronomy.* 2021. № 11. 697 p.
19. Sangiorgio D., Cellini A., Donati I. and others. Facing Climate Change: Application of Microbial Biostimulants to Mitigate Stress in Horticultural Crops. *Agronomy.* 2020. № 10. 794 p.
20. Soltani N., Shropshire C., Sikkema P.H. Effect of Biostimulants Added to Postemergence Herbicides in Corn, Oats and Winter Wheat. *Agric. Sci.* 2015. № 6. P. 527–534.
21. Soltani N., Shropshire C., Sikkema P.H. Responses of Dry Bean to Biostimulants Added to Postemergence Herbicides. *Agric. Sci.* 2015. № 6. P. 1023–1032.
22. Tejada M., García-Martínez A.M. and others. Application of MCPA Herbicide on Soils Amended with Biostimulants: Short-Time Effects on Soil Biological Properties. *Chemosphere.* 2010. № 80. P. 1088–1094.
23. Tejada M., García-Martínez A.M. and others. Response of Biological Properties to the Application of Banvel (2,4-D+MCPA+Dicamba) Herbicide in Soils Amended with Biostimulants. *Springer.* 2012. P. 241–253.
24. Tiriyaki D., Aydın İ., Atıcı Ö. Psychrotolerant Bacteria Isolated from the Leaf Apoplast of Cold-Adapted Wild Plants Improve the Cold Resistance of Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under Low Temperature. *Cryobiology.* 2019. № 86. P. 111–119.
25. Yakhin O.I., Lubyantsev A.A., Yakhin I.A., Brown P.H. Biostimulants in Plant Science: A Global Perspective. *Front. Plant Sci.* 2017. № 7. P. 2049.
26. Yang F., Gao M., Lu H. and others. Effects of Atrazine on Chernozem Microbial Communities Evaluated by Traditional Detection and Modern Sequencing Technology. *Microorganisms.* 2021. № 9. 1832.

Vakhnyak V. S.

*Candidate of Agricultural Sciences,
Associate Professor at the Department of Agriculture, Soil Science and Plant Protection,
Higher educational institution "Podillia State University"
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: wastep@meta.ua
ORCID: 0000-0002-3436-8685*

Barannyk A. V.

*Candidate of Geographical Sciences,
Doctoral Student at the Department of World History,
Vasyl Stefanyk Precarpathian National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
E-mail: andruha.geograph@gmail.com
ORCID: 0000-0001-7303-4816*

OPTIMIZATION OF THE COMBINED USE OF HERBICIDES AND BIOSTIMULANTS IN CORN

Abstract

The issue of optimizing the combination of herbicides and biostimulants in agriculture is highly relevant due to the need to increase corn yield while minimizing stress factors and conserving resources. The introduction of biostimulants into crop nutrition systems aims not only to boost yield but also to enhance plant stress resistance, reduce the negative impact of herbicides, and improve

product quality. However, the combined application of these products can have both positive and negative consequences, necessitating detailed research.

The objective of this study is to determine the characteristics of the joint application of herbicides and seaweed-based biostimulants and to assess their impact on corn yield under the conditions of the Forest-Steppe of Ukraine. To achieve this, a series of field experiments were conducted using different combinations of herbicides and biostimulants to evaluate their effectiveness and feasibility.

The research was carried out between 2022 and 2024 at the enterprise LLC "Agro-Slava 2017" in the Khmelnytskyi region, Kamianets-Podilskyi district.

This article examines the peculiarities of the combined use of herbicides and biostimulants in corn, analyzing their interactions and impact on grain yield and quality. The study established that the effectiveness of herbicide and biostimulant combinations depends on the composition of the products and their influence on plant physiological processes. The highest yield was achieved with the application of a herbicide combination of rimsulfuron + 2,4-D + florasulam, which effectively controlled weeds, particularly broadleaf species. The addition of biostimulants to herbicides produced mixed results: in some cases, they improved crop structure, while in others, they intensified herbicidal stress.

Seaweed-based biostimulants influenced the formation of the number of ears per plant, especially Biostimulant 2, which contains a rich complex of phytohormones. However, additional ears often remained underdeveloped, which did not always lead to increased yields. Meanwhile, Biostimulant 1 positively affected structural yield elements, such as the number of kernel rows. In contrast, combinations of herbicides with Biostimulant 2, although promoting active plant growth, reduced the qualitative yield indicators.

It was found that the combination of 2,4-D-based herbicides with biostimulants containing natural auxins could trigger a synergistic phytotoxic effect. In some cases, yield reduction was observed due to hormonal imbalances and intensified herbicidal stress.

The obtained results highlight the need for further research on the interaction between herbicides and biostimulants, particularly in the context of increasing plant resistance to stress factors and improving yield quality characteristics. The implementation of rational application schemes for these products can ensure effective weed control while minimizing adverse effects on the crop.

Key words: herbicide, biostimulant, corn, yield, phytotoxicity, seaweed extract, sulfonylureas.

References

1. Volkodav, V.V. (2000). *Metodyka derzhavnoho sortovyprobuвання silskohospodarskykh kultur* [Methodology of state variety testing of agricultural crops]. Kyiv, 100 p. [in Ukrainian].
2. Hospodarenko, H.M. (2015). *Systema zastosuvannya dobryv: navch. posibnyk*. [Fertilizer application system: teaching manual]. Kyiv, 332 p. [in Ukrainian].
3. Abu-Qare, A.W., & Duncan, H.J. (2002). Herbicide Safeners: Uses, Limitations, Metabolism, and Mechanisms of Action. *Chemosphere*. 48. P. 965–974 [in English].
4. Balabanova, D.A., Paunov, M., Goltsev, V., et al. (2016). Photosynthetic Performance of the Imidazolinone Resistant Sunflower Exposed to Single and Combined Treatment by the Herbicide Imazamox and an Amino Acid Extract. *Front. Plant Sci.* 7. 1559 [in English].
5. Bezuglova, O.S., Gorovtsov, A.V., Polienko, E.A., et al. (2019). Effect of Humic Preparation on Winter Wheat Productivity and Rhizosphere Microbial Community under Herbicide-Induced Stress. *J. Soils Sediments*, 19. P. 2665–2675 [in English].
6. Bulgari, R., Franzoni, G., & Ferrante, A. (2019). Biostimulants Application in Horticultural Crops under Abiotic Stress Conditions. *Agronomy*. 9. P. 306 [in English].
7. Chen, J., Yang, W., Li, J., et al. (2021). Effects of Herbicides on the Microbial Community and Urease Activity in the Rhizosphere Soil of Maize at Maturity Stage. *J. Sens.* Article ID 6649498. DOI: 10.1155/2021/6649498 [in English].
8. De Andrade, C.L., Da Silva, A.G., et al. (2020). Performance of soybeans with the application of glyphosate formulations in biostimulant association. *Rev. Caatinga*. 33. P. 371–383 [in English].
9. De Andrade, C.L., Da Silva, A.G., Melo, G.B., et al. (2018). Bioestimulantes Derivados de *Ascophyllum Nodosum* Associados ao Glyphosate nas Características Agronômicas da Soja RR. *Rev. Bras. Herbic.* 17. 592 [in English].
10. Du Jardin, P. (2015). Plant Biostimulants: Definition, Concept, Main Categories and Regulation. *Sci. Hortic.* 196. P. 3–14 [in English].
11. Du, Z., Zhu, Y., Zhu, L., et al. (2018). Effects of the Herbicide Mesotrione on Soil Enzyme Activity and Microbial Communities. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 164. P. 571–578 [in English].
12. Katsenios, N., Andreou, V., Sparangis, P., (2022). Assessment of Plant Growth Promoting Bacteria Strains on Growth, Yield and Quality of Sweet Corn. *Sci. Rep.* 12. 11598 [in English].
13. Li, J., Van Gerrewey, T., & Geelen, D. A (2022). Meta-Analysis of Biostimulant Yield Effectiveness in Field Trials. *Front. Plant Sci.* 13. P. 1–13 [in English].
14. Matysiak, K., Miziniak, W., et al (2018). Herbicides with Natural and Synthetic Biostimulants in Spring Wheat. *Cienc. Rural*. 48. e20180405 [in English].
15. Navarro-León, E., Borda, E., Marín, C., et al. (2022). Application of an Enzymatic Hydrolysed L- α -Amino Acid Based Biostimulant to Improve Sunflower Tolerance to Imazamox. *Plants*. 11. 2761 [in English].
16. Ortiz-Botella, M., Gómez, I., Paneque, P., et al. (2022). Use of Biostimulants Obtained from Okara in the Bioremediation of Soils Polluted by Imazamox. *Bioremediat. J.* 26. P. 53–63 [in English].
17. Panfili, I., Bartucca, M.L., Marrollo, G., et al. (2019). Application of a Plant Biostimulant to Improve Maize (*Zea mays*) Tolerance to Metolachlor. *J. Agric. Food Chem.* 67. P. 12164–12171 [in English].
18. Rehim, A., Amjad Bashir, M., Raza, Q.-U.-A., et al. (2021). Yield Enhancement of Biostimulants, Vitamin B12, and CoQ10 Compared to Inorganic Fertilizer in Radish. *Agronomy*. 11. 697 [in English].
19. Sangiorgio, D., Cellini, A., Donati, I., et al. (2020). Facing Climate Change: Application of Microbial Biostimulants to Mitigate Stress in Horticultural Crops. *Agronomy*. 10. 794 [in English].

-
20. Soltani, N., Shropshire, C., & Sikkema, P.H. (2015). Effect of Biostimulants Added to Postemergence Herbicides in Corn, Oats and Winter Wheat. *Agric. Sci.* 6. P. 527–534 [in English].
 21. Soltani, N., Shropshire, C., & Sikkema, P.H. (2015). Responses of Dry Bean to Biostimulants Added to Postemergence Herbicides. *Agric. Sci.* 6. P. 1023–1032 [in English].
 22. Tejada, M., García-Martínez, A.M., et al. (2010). Application of MCPA Herbicide on Soils Amended with Biostimulants: Short-Time Effects on Soil Biological Properties. *Chemosphere*. 80. P. 1088–1094 [in English].
 23. Tejada, M., García-Martínez, A.M., et al. (2012). Response of Biological Properties to the Application of Banvel (2,4-D+MCPA+Dicamba) Herbicide in Soils Amended with Biostimulants. *Springer*. P. 241–253 [in English].
 24. Tiryaki, D., Aydın, İ., & Atıcı, Ö. (2019). Psychrotolerant Bacteria Isolated from the Leaf Apoplast of Cold-Adapted Wild Plants Improve the Cold Resistance of Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under Low Temperature. *Cryobiology*. 86. P. 111–119 [in English].
 25. Yakhin, O.I., Lubyantsev, A.A., Yakhin, I.A., & Brown, P.H. (2017). Biostimulants in Plant Science: A Global Perspective. *Front. Plant Sci.* 7. P. 2049 [in English].
 26. Yang, F., Gao, M., Lu, H., et al. (2021). Effects of Atrazine on Chernozem Microbial Communities Evaluated by Traditional Detection and Modern Sequencing Technology. *Microorganisms*. 9. 1832 [in English].