

Effectiveness of fungicides at different stages of development of maize maternal lines and their impact on yield

K. Koba  | M. Marenych

Article info

Correspondence Author

K. Koba

E-mail:

kristinakoba3@gmail.comPoltava State Agrarian
University,
1/3, Skovorody str.,
Poltava, 36003,
Ukraine

Citation: Koba, K., Marenych, M. (2024). Effectiveness of fungicides at different stages of development of maize maternal lines and their impact on yield. *Scientific Progress & Innovations*, 27 (4), 31–36. doi: 10.31210/spi2024.27.04.06

Maize is one of the most widely cultivated cereal crops in the world. Consequently, the productivity of its maternal lines plays a crucial role in ensuring the stability and quality of hybrid seeds. This study investigates the efficacy of fungicides applied at different growth stages of maize maternal lines and their direct impact on yield. The main objective of the research was to identify optimal strategies for protecting maternal lines from fungal infections to enhance their productivity. Experiments conducted in the Central Forest-Steppe region of Ukraine evaluated the efficacy of three fungicides (Acanto Plus, Abacus, and Coronet) applied at different stages: the 8-leaf stage (V8/BBCH18), the tasseling stage (VT/BBCH63), and their combination (V8+VT). The results showed that the highest yield was achieved with Abacus applied at the V8+VT stages (average yield — 5.01 t/ha), which was 25 % higher compared to the control. Combined application at the V8+VT stages demonstrated the highest effectiveness for all products, emphasizing the importance of protection at all stages of plant development. Analysis of variance (ANOVA) confirmed the significant impact of application stages (58 % of total variation) and fungicide type (42 %) on yield, while the interaction of these factors was negligible. Additionally, the results highlighted the substantial influence of weather conditions across different years on fungicide efficacy, indicating the necessity of adapting protection technologies to specific climatic conditions. Further analysis indicates that weather stresses such as drought or excessive moisture can alter the response of plants to fungicide treatments. This highlights the importance of monitoring weather conditions to ensure timely application. The obtained data provide practical insights for improving the protection system of maize maternal lines, particularly in selecting fungicide application stages and products. This approach can significantly increase seed yield and quality while ensuring the efficient use of agronomic practices. Furthermore, the findings can be used to refine recommendations for sustainable hybrid maize seed production.

Keywords: maize, maternal lines, fungicides, yield, growth stages.

Ефективність фунгіцидів у різні фази розвитку материнських ліній кукурудзи та їх вплив на урожайність

К. В. Коба | М. М. Маренич

Полтавський державний
аграрний університет,
Полтава, Україна

Кукурудза є однією з найпоширеніших зернових культур у світі. А отже, продуктивність її материнських ліній відіграє ключову роль у забезпеченні стабільності та якості гібридного насіння. У цій роботі досліджено ефективність фунгіцидів, застосованих на різних фазах розвитку рослин материнських ліній кукурудзи та їхній прямиий вплив на урожайність. Основною метою дослідження було визначити оптимальні стратегії захисту материнських ліній від грибкових інфекцій для підвищення їхньої продуктивності. В дослідженнях, які були проведені в умовах Центрального Лісостепу України, оцінювали ефективність трьох фунгіцидів (Аканто Плюс, Абакус та Коронет), які застосовувалися на різних фазах: у фазі 8 листків (V8/BBCH18), фазі викидання волоті (VT/BBCH63) та їх комбінації (V8+VT). Результати показали, що найбільшу урожайність забезпечило внесення фунгіциду Абакус у фазах V8+VT (середній показник – 5,01 т/га), що на 25 % більше порівняно з контролем. Комбіноване внесення у фазах V8+VT продемонструвало найвищу ефективність для всіх препаратів, що підкреслило важливість захисту на усіх етапах розвитку рослин. Дисперсійний аналіз (ANOVA) підтвердив статистично достовірний вплив фаз внесення (58 % загальної варіації) та типу фунгіциду (42 %) на урожайність, тоді як взаємодія цих факторів була незначною. Окрім цього, результати дослідження показали суттєвий вплив погодних умов різних років на ефективність фунгіцидів, що свідчить про необхідність адаптації технологій захисту до конкретних ґрунтово-кліматичних умов. Додатковий аналіз вказує на те, що погодні стреси, такі як посуха або надмірна вологість, можуть змінювати реакцію рослин на фунгіцидну обробку. Це підкреслює важливість моніторингу погодних умов для своєчасного внесення препаратів. Отримані дані мають практичне значення для вдосконалення системи захисту материнських ліній кукурудзи, зокрема у виборі фаз внесення фунгіцидів та препаратів. Це дозволяє значно підвищити урожайність і якість насіння, забезпечуючи ефективне використання агротехнічних заходів. Крім того, результати досліджень можуть бути використані для вдосконалення рекомендацій щодо сталого виробництва гібридного насіння кукурудзи.

Ключові слова: кукурудза, материнські лінії, фунгіциди, урожайність, фази росту.

Бібліографічний опис для цитування: Коба К. В., Маренич М. М. Ефективність фунгіцидів у різні фази розвитку материнських ліній кукурудзи та їх вплив на урожайність. *Scientific Progress & Innovations*. 2024. № 27 (4). С. 31–36.

Вступ

Кукурудза (*Zea mays* L.) – одна з найважливіших зернових культур у світі, яка служить основним продуктом харчування, кормом для тварин і промисловою сировиною [1]. Виробництво високоякісних гібридів кукурудзи значною мірою залежить від продуктивності батьківських ліній, особливо материнських, які є ключовими для створення стабільних і високоврожайних гібридів [2].

Материнські лінії кукурудзи – це спеціально відібрані генетично однорідні рослини, які широко використовуються у виробництві гібридного насіння. Ці лінії ретельно створюються методом селекції щоб мати бажані ознаки, такі як стійкість до хвороб, потенціал врожайності та адаптованість до конкретних умов вирощування. Вони служать основою для виробництва гібридного насіння. Саме їхні генетичні характеристики поєднуються з особливостями батьківських ліній для створення високоврожайних і стійких гібридів, здатних протистояти хворобам і стресовим факторам [3].

Продуктивність материнських ліній безпосередньо впливає на якість і врожайність гібридного насіння. Комплексне управління процесом вирощування материнських ліній є критичним аспектом сучасного сільського господарства. Однак, через їх генетичну однорідність, материнські лінії часто сприйнятливіші до екологічних стресів і хвороб, особливо грибкових інфекцій [4]. Ці хвороби можуть знизити життєздатність рослин, порушити цілісність насіння і, в кінцевому підсумку, загрожують всьому циклу вирощування якісного насіннєвого матеріалу [5, 6].

Основною метою гібридного насінництва є максимізація якості та кількості насіння, зібраного з материнських рослин. Грибкові захворювання не тільки знижують урожайність, але також можуть погіршити якість насіння через погану схожість, загивання насіння та зараження мікотоксинами [7].

Фунгіциди відіграють життєво важливу роль у захисті материнських ліній від грибкових збудників. Їхнє застосування не тільки захищає здоров'я цих рослин, але й забезпечує їхню фізіологічну стабільність, що має вирішальне значення для досягнення оптимального виробництва насіння [8–11].

В Україні кукурудза страждає від багатьох поширених і шкідливих хвороб, які негативно впливають на продуктивність і якість культури. Іржа (*Puccinia polysora*), фузаріоз (*Fusarium moniliforme*), пухирчаста (*Ustilago zaeae*) та летюча сажка (*Sogosporium zeilianum*) та гелмінтоспоріоз (*Helminthosporium turcicum*) є найпоширенішими та найшкідливішими хворобами кукурудзи [12, 13]. Крім того, кукурудзу перевіряють на бактеріоз, пліснявіння насіння, кореневі та стеблові гнилі та інші проблеми, які залежать від місця вирощування [14].

Материнські лінії, які часто відбираються за певними агрономічними ознаками, можуть не мати стійкості до різного спектру хвороб. В свою чергу застосування фунгіцидів пригнічує ріст грибів і

запобігає поширенню інфекції, що робить їх дієвим методом боротьби з цими хворобами [15, 16].

Терміни та спосіб застосування фунгіциду особливо важливі, оскільки різні етапи росту можуть потребувати спеціальних заходів для максимальної ефективності [17, 18].

Фаза росту рослин кукурудзи під час внесення фунгіцидів так само важлива, як і вибір відповідного препарату та його діючої речовини. Фунгіциди, як правило, є найефективнішими якщо застосовуються для профілактики або на початкових етапах розвитку хвороби [19]. Під час критичних етапів розвитку рослини, наприклад, вісім листків (ВВСН 18) і вихід шовку (ВВСН 63), використання фунгіцидів має вирішальне значення, щоб запобігти проблемам з листям і забезпечення її успішного репродуктивного розвитку. Застосування в пізніші строки може знизити ефективність заходів боротьби з хворобою. Важливо, що для усунення вторинних інфекцій та розширення захисту, можливе багаторазове внесення фунгіцидів протягом вегетаційного періоду [20–22].

Тривала затримка внесення може призвести до постійної шкоди, зменшуючи ефективність стратегій боротьби з хворобами. Крім того, повторне застосування протягом періоду росту може бути важливим для викорінення наступних інфекцій і продовження профілактики захворювань [23–25].

Фунгіциди називають інвестицією в стійкість гібридних систем виробництва насіння. Хоча початкові витрати на фунгіциди та їхнє застосування можуть бути значними, економічні переваги від збільшення врожайності та кращої якості насіння їх перевершують. Постійна продуктивність материнських ліній є важливою для виробників гібридного насіння щоб задовольнити потреби ринку.

Використання фунгіцидів у посівах материнських ліній кукурудзи є основою сучасного гібридного насінництва. Захищаючи від грибкових хвороб, зберігаючи ефект фотосинтезу, фунгіциди відіграють важливу роль у підвищенні врожайності материнських ліній. Оскільки попит на високопродуктивні гібриди кукурудзи продовжує рости, важливість використання фунгіцидів для збереження здоров'я і продуктивності материнських ліній не можна переоцінити. Інтеграція фунгіцидів у складні стратегії управління продуктивністю сільськогосподарських культур залишаються важливими для сталого виробництва кукурудзи в усьому світі.

Мета дослідження

Мета досліджень – оцінити ефективність фунгіцидів, які застосовуються на різних стадіях росту материнської лінії кукурудзи, виявити шляхи підвищення врожайності насіння завдяки ним.

Завдання досліджень: визначити ключові стадії росту материнських ліній кукурудзи, які найбільш сприйнятливі до грибкових захворювань та проаналізувати ефективність різних фунгіцидів у боротьбі з грибковими інфекціями на цих критичних стадіях росту.

Матеріали і методи

Експериментальні дослідження проводилися в умовах нестійкого зволоження Центрального Лісостепу.

Материнська лінія: Р4/440 (ФАО 440) – спеціально адаптована для отримання зерна та виробництва спирту. Характеризується високою продуктивністю, здатністю до швидкої втрати вологи під час дозрівання та відмінною посухостійкістю. Лінія має середній рівень стійкості до сажкових хвороб, таких як пухирчаста сажка (*Ustilago zeae*) та летюча сажка (*Sporisorium reilianum*), звідси потреба у додатковому фунгіцидному захисті. Добре адаптована до вирощування в монокультурі. Проте не придатна до пізнього збирання через підвищений ризик пошкодження врожаю під час несприятливих погодних умов (дощів або заморозків). Дуже чутлива до мінімального обробітку ґрунту, що проявляється у зниженій польовій схожості через недостатній контакт насіння з ґрунтом, погіршенні аерації, а також у підвищеній вразливості до бур'янів та патогенів.

Сівбу варто здійснювати в оптимальні терміни, для забезпечення належного розвитку та проростання. Рекомендована зона вирощування – Степ та Лісостеп.

Ґрунти дослідної ділянки характеризуються добрими агрономічними властивостями та є досить родючими. Вміст гумусу в орному шарі становить 3,8–4,2%. У метровому шарі запас гумусу досягає 500–550 тон на гектар, що свідчить про значний потенціал для сільськогосподарського виробництва.

Щодо елементів живлення: вміст рухомого фосфору знаходиться у межах 22–24,3 мг/кг ґрунту, що відповідає середньому рівню забезпеченості; вміст обмінного калію становить 264–290 мг/кг, що характеризується середнім рівнем; вміст нітратного азоту перед посівом міститься лише 9,8–10,2 мг/кг, що вказує на низьку забезпеченість азотом і потребу в додатковому азотному удобренні. Ґрунти мають досить щільну структуру (густина 1,15–1,36 г/см³), та високу ємність поглинання – 40 мг еквівалентів на 100 г ґрунту.

Реакція ґрунтового розчину від слабо кислої до нейтральної (рН 5,9–7,1), що є сприятливим для більшості культур. Така реакція не створює умов для токсичності та блокування елементів живлення.

В цілому, ґрунти дослідної ділянки є сприятливими для сільського господарства, але для досягнення високої врожайності рекомендується додаткове внесення азотних добрив і, залежно від культури, регулювання рівня фосфору та калію.

Основними параметрами експерименту були:

- *фунгіциди*: досліджувалися три препарати – Аканто Плюс (1,0 л/га), Абакус (1,75 л/га) та Коронет (0,8 л/га);

- *час застосування*: фунгіциди застосовувалися на різних стадіях розвитку кукурудзи – у фазі 8 листків (V8), фазі викидання волоті (VT) та у комбінації цих двох фаз (V8+VT).

Облікова площа ділянки становила 1 га, повторність трикратна, розміщення варіантів – рандомізоване. На контрольному варіанті фунгіциди

не застосовувалися. Це дозволило точно оцінити вплив обробок, виключаючи сторонні чинники. Збирання та облік урожаю та визначення вологості проводили в фазу повної стиглості зерна комбайном ОХВО 2460 з кожної ділянки досліду. Урожайність зерна кукурудзи перераховували на стандартну вологість 14%.

Аканто Плюс – двокомпонентний фунгіцид на основі стробілурину з вираженим фізіологічним ефектом для захисту багатьох культур. Вміст діючих речовин – пікоксістробін, 200 г/л + ципроконазол, 80 г/л. Є фунгіцидом з вираженим фізіологічним ефектом для захисту широкого спектру культур.

Абакус – двокомпонентний фунгіцид, має різний механізм дії та розподілу діючих речовин. Епоксіконазол (62,5 г/л) активно поглинається листовою пластиною та системно переміщується у рослині, має захисну та лікувальну дію. Піраклостробін (62,5 г/л) пригнічує ріст міцелію та спороношення у грибів шляхом інгібування дихання.

Коронет – комбінований фунгіцид мезосистемної дії проти широкого спектру хвороб. Володіє високою профілактичною та лікувальною дією проти іржі та гелмінтоспориозу кукурудзи. Трифлуксістробін (100 г/л) належить до стробілуринів, – порушує процес дихання в мітохондріях клітин патогена. Тебуконазол (200 г/л) належить до триазолів, його дія полягає у пригніченні розвитку гіфів та грибиці за рахунок порушення біосинтезу стеролів у клітинній мембрані.

Результати та їх обговорення

Аналізуючи дані досліджень, встановлено, що материнська лінія Р4/440 продемонструвала значну варіацію урожайності залежно від фунгіцидів, що використовувалися та фаз їх внесення (*табл. 1*). В середньому за роки досліджень (2021–2023 рр.) найбільша урожайність була зафіксована на варіанті де застосовували фунгіцид Абакус у фазах V8+VT – 5,01 т/га, що на 25% більше порівняно з контролем.

Використання фунгіциду Аканто плюс у фазах V8+VT, демонструє максимальну врожайність 5,00 т/га. Внесення цього ж препарату у фазу кукурудзи V8 забезпечило середню урожайність 4,43 т/га, а внесення у фазі VT – 4,90 т/га.

У порівнянні з двома попередніми препаратами Коронет показав нижчі результати. Максимальну врожайність зафіксовано у разі застосування у фазах V8+VT – 4,55 т/га. Середня урожайність у фазі внесення V8 – 4,39 т/га та у фазі VT – 4,45 т/га відповідно.

У порівнянні з двома попередніми препаратами Коронет показав нижчі результати. Максимальну врожайність зафіксовано у разі застосування у фазах V8+VT – 4,55 т/га. Середня урожайність у фазі внесення V8 – 4,39 т/га та у фазі VT – 4,45 т/га відповідно.

Контрольний варіант без використання фунгіцидів демонстрував найнижчу урожайність, яка в середньому за три роки становила 4,02 т/га, що підтверджує значущість фунгіцидного захисту для підвищення врожайності.

Таблиця 1

Урожайність материнської лінії Р4/440 залежно від фунгіцидів та їх фази внесення (т/га)

Гібрид	Препарат	Норма внесення, л/га	Фаза внесення	Роки проведення			середнє
				2021	2022	2023	
Р4/440	Аканто плюс	Контроль (без фунгіцидів)		4,11	3,79	4,17	4,02
		1,0	V8	4,39	4,28	4,63	4,43
		1,0	VT	4,98	4,75	4,97	4,90
		1,0	V8+VT	5,05	4,86	5,09	5,00
	Абакус	1,75	V8	4,55	4,18	4,63	4,45
		1,75	VT	4,94	4,66	5,03	4,88
		1,75	V8+VT	5,15	4,72	5,16	5,01
	Коронет	0,8	V8	4,35	4,23	4,58	4,39
		0,8	VT	4,5	4,02	4,84	4,45
		0,8	V8+VT	4,65	4,15	4,86	4,55
НІР	Роки						0,05
НІР	Фунгіцид						0,06
НІР	Фаза внесення						0,06
НІР	Роки*Фунгіцид						0,09
НІР	Роки*Фунгіцид*Фаза внесення						0,16

Аналізуючи варіацію за роками встановлено, що у 2023 році, через сприятливіші погодні умови, усі варіанти показали вищі показники урожайності порівняно з 2021 та 2022 роками. Для прикладу, урожайність на варіантах із застосуванням фунгіциду Абакус у фазах V8+VT у 2023 році склала 5,16 т/га, що перевищує середнє значення за роками.

Результати також підкреслюють, що навіть за умов середньої стійкості до хвороб у материнської лінії Р4/440, використанням фунгіцидів значно збільшує його продуктивність. Це особливо важливо

для умов монокультури, де хвороби можуть мати кумулятивний ефект.

Аналіз отриманих результатів підтвердив значний вплив фунгіцидного захисту на урожайність материнської лінії Р4/440, а також доцільність вибору оптимальних фаз внесення для препарату. Проте для ширшого розуміння взаємодії факторів, таких як тип фунгіциду, фаза внесення та роки досліджень, був проведений дисперсійний аналіз (ANOVA). Цей аналіз дозволив визначити не лише головні ефекти, але й взаємодії між факторами, що суттєво впливають на урожайність (*табл. 2*).

Таблиця 2

Результати дисперсійного аналізу впливу факторів на врожайність кукурудзи (т/га)

Effect	SS	Deg. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1739,261	1	1739,261	174248,8	0,000000
Роки	2,834	2	1,417	141,9	0,000000
Фунгіцид	3,383	2	1,691	169,5	0,000000
Фаза внесення	4,614	2	2,307	231,1	0,000000
Роки*Фунгіцид	0,35	4	0,087	8,8	0,000016
Роки*Фаза внесення	0,031	4	0,008	0,8	0,544588
Фунгіцид*Фаза внесення	0,008	4	0,002	0,2	0,936407
Роки*Фунгіцид*Фаза внесення	0,203	8	0,025	2,5	0,019934
Error	0,539	54	0,01	-	-

Примітки: SS – сума квадратів; MS – середній квадрат; F – значення критерію Фішера; p – рівень статистичної значущості.

Виходячи з даних дисперсійного аналізу встановлено, що головні фактори – роки досліджень, тип фунгіциду та фаза внесення мали статистично значущий вплив на врожайність кукурудзи ($p < 0,000001$). Найбільший ефект у загальну варіацію врожайності внесли фази внесення фунгіцидів ($F = 231,1$) та вибір фунгіциду ($F = 169,5$).

Взаємодії між факторами також показали істотний вплив. Відтак, взаємодія Роки*Фунгіцид була значущою ($p < 0,000001$), що свідчить про те, що погодні умови та агрокліматичні особливості кожного року дослідження мали значний вплив на ефективність окремих препаратів. Наприклад, у сприятливих погодних умовах 2023 року фунгіцид Абакус у фазах V8+VT забезпечив максимальний показник урожайності – 5,16 т/га, тоді як у менш сприятливому 2022 році урожайність знизилася до 4,72 т/га. Взаємодії Роки * Фаза внесення та

Фунгіцид*Фаза внесення не мали статистично значущого впливу на врожайність. В свою чергу взаємодія трьох факторів (Роки*Фунгіцид*Фаза внесення) була досить значущою – $p = 0,0199$, що вказує на можливий складний комбінований вплив цих факторів.

На *рисунку 1* показано, як різні фактори (фунгіциди, фази внесення, їх взаємодія та інші) впливають на варіацію врожайності кукурудзи, відповідно до результатів дисперсійного аналізу.

Аналіз даних демонструє, що найбільший вплив на варіацію врожайності материнської лінії має фаза внесення фунгіцидів – 39 % від загального. Це означає те, що підбір фази кукурудзи під час застосування препарату є ключовим у забезпеченні ефективності фунгіцидного внесення.

Наступним фактором за значущістю є вибір самого препарату (28 %), що вказує на високу

залежність урожайності від біологічних властивостей препарату, таких як спектр дії, стійкість до патогенів та його ефективність за конкретних агротехнічних умов. Цікаво, що такий результат демонструє, що навіть найкращий фунгіцид не зможе забезпечити максимальну ефективність, якщо його застосовувати у невідповідний час або у фазі, що не оптимальна для розвитку рослин чи дії препарату.

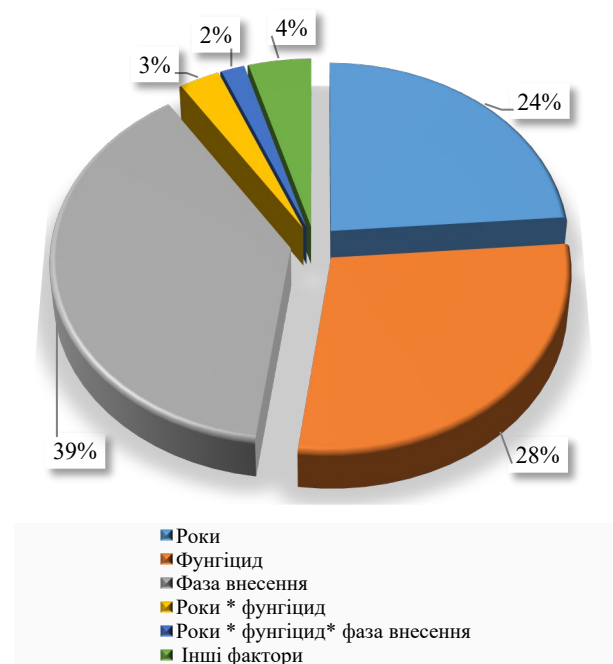


Рис. 1. Частка впливу досліджуваних факторів

Фактор "Роки", який охоплює вплив погодних умов і агрокліматичних змін, забезпечив 24 % варіації. Це демонструє суттєву залежність результативності фунгіцидного захисту від кліматичних умов кожного року. Взаємодія між факторами, такими як Роки * фунгіцид (3 %) та Роки * фунгіцид * фаза внесення (2 %), мала менший вплив, що свідчить про незалежний характер більшості досліджених факторів.

Інші фактори, що включають можливі похибки та непрямі впливи, становлять лише 4 % варіації, що підтверджує точність дослідження та правильність обраної методики.

Отримані результати ще раз підкреслюють важливість комплексного підходу до планування агротехнічних заходів. Зокрема, врахування фази росту рослини і специфічних характеристик фунгіцидів, дозволяє значно підвищити продуктивність материнських ліній, знижуючи при цьому ризики недоотримання врожаю через хвороби.

Висновки

На основі проведених трирічних досліджень встановлено значний вплив фунгіцидного захисту, фаз внесення препарату та погодних умов різних років на урожайність материнської лінії гібриду

P4/440. Отримані результати дозволяють зробити такі висновки:

1. Ефективність внесення фунгіцидів: препарат Абакус забезпечив найвищу врожайність, особливо при застосуванні його у фазах V8+VT, середній показник 5,01 т/га. Два інші фунгіциди Аканто плюс і Коронет, також продемонстрували суттєве підвищення урожайності у порівнянні з контролем, проте їхня ефективність була меншою.

2. Вибір фази внесення: комбіноване внесення фунгіцидів у дві ключові фази розвитку кукурудзи (V8+VT) забезпечує максимальний захист рослин та стабільно високі показники врожайності. Це свідчить про важливість захисту як на вегетативному етапі розвитку рослини, так і у фазі формування репродуктивних органів.

3. Роль погодних умов: результати дисперсійного аналізу підтвердили, що погодні умови різних років мають суттєвий вплив на ефективність фунгіцидів, що підкреслює важливість адаптації технологій захисту до конкретних кліматичних умов.

Перспективи подальших досліджень. За допомогою отриманих даних визначено основні напрями подальших досліджень:

- вивчити вплив застосованих фунгіцидів не лише на врожайність, але й на якісні показники зерна, зокрема вміст білка та крохмалю, важливі для спиртового виробництва;
- дослідити ефективність фунгіцидного захисту на інших гібридах кукурудзи для узагальнення результатів;
- розглянути взаємодію фунгіцидного захисту з іншими агротехнічними факторами, такими як густина посіву та рівень забезпеченості елементами живлення.

Загалом, отримані висновки дозволяють визначити практичне значення для вдосконалення системи захисту материнських ліній кукурудзи. Це сприяє підвищенню їх продуктивності та ефективного використанню агротехнічних заходів у виробництві насіння.

Конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів щодо їхнього викладу та результатів досліджень.

References

1. van Ittersum, M. K. (2015). Crop Yields and Global Food Security. Will Yield Increase Continue to Feed the World? *European Review of Agricultural Economics*, 43 (1), 191–192. <https://doi.org/10.1093/erae/jbv034>
2. Bahtiar, B., Zanuddin, B., & Azrai, M. (2020). Advantages of hybrid corn seed production compared to corn grain. *International Journal of Agriculture System*, 8 (1), 44–56. <https://doi.org/10.20956/ijas.v8i1.2327>
3. Bahatchenko, V. V., & Zhemoida, V. L. (2015). Pidvyshchennia nasinnievoi produktyvnosti batkivskykh komponentiv – osnova vysokykh vrozhaiv kukurudzy. *Stan i perspektyvy rozvytku selektsii ta nasinnytstva kukurudzy v umovakh zminy klimatu: materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii (7–9 lypnia 2015 r.)*. (pp. 15–16). Kharkiv: NAAN, Instytut roslynnytstva im. V. Ia. Yurieva

4. Guo, B., Ji, X., Ni, X., Fountain, J. C., Li, H., Abbas, H. K., Lee, R. D., & Scully, B. T. (2017). Evaluation of maize inbred lines for resistance to pre-harvest aflatoxin and fumonisin contamination in the field. *The Crop Journal*, 5 (3), 259–264. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2016.10.005>
5. El-Baky, N. A., & Amara, A. A. A. F. (2021). Recent approaches towards control of fungal diseases in plants: an updated review. *Journal of Fungi*, 7 (11), 900. <https://doi.org/10.3390/jof7110900>
6. Giorni, P., Bertuzzi, T., & Battilani, P. (2019). Impact of fungi co-occurrence on mycotoxin contamination in maize during the growing season. *Frontiers in Microbiology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01265>
7. Oldenburg, E., Höppner, F., Ellner, F., & Weinert, J. (2017). Fusarium diseases of maize associated with mycotoxin contamination of agricultural products intended to be used for food and feed. *Mycotoxin Research*, 33 (3), 167–182. <https://doi.org/10.1007/s12550-017-0277-y>
8. Wise, K. A., Smith, D., Freije, A., Mueller, D. S., Kandel, Y., Allen, T., Bradley, C. A., Byamukama, E., Chilvers, M., Faske, T., Friskop, A., Hollier, C., Jackson-Ziems, T. A., Kelly, H., Kemerait, B., Price, P., Robertson, A., & Tenuta, A. (2019). Meta-analysis of yield response of foliar fungicide-treated hybrid corn in the United States and Ontario, Canada. *PLoS ONE*, 14 (6), e0217510. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217510>
9. Masiello, M., Somma, S., Ghionna, V., Logrieco, A. F., & Moretti, A. (2019). In vitro and in field response of different fungicides against *Aspergillus flavus* and *Fusarium* species causing ear rot disease of maize. *Toxins*, 11 (1), 11. <https://doi.org/10.3390/toxins11010011>
10. Czembor, E., Stepień, L., & Waśkiewicz, A. (2015). Effect of environmental factors on *Fusarium* species and associated mycotoxins in maize grain grown in Poland. *PLoS ONE*, 10 (7), e0133644. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133644>
11. Rosburg, A., & Menapace, L. (2018). Factors Influencing Corn Fungicide Treatment Decisions. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 43 (2), 151–171. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.273444>
12. Anderson, N. R., Romero Luna, M. P., Ravellette, J. D., & Wise, K. A. (2017). Impact of foliar fungicides on gibberella ear rot and deoxynivalenol levels in indiana corn. *Plant Health Progress*, 18 (3), 186–191. <https://doi.org/10.1094/php-01-17-0010-rs>
13. Telenko, D. E. P., Chilvers, M. I., Byrne, A. M., Check, J. C., Da Silva, C. R., Kleczewski, N. M., Roggenkamp, E. E., Ross, T. J., & Smith, D. L. (2022). Fungicide efficacy on tar spot and yield of corn in the Midwestern United States. *Plant Health Progress*, 23 (3), 281–287. <https://doi.org/10.1094/php-10-21-0125-rs>
14. Hao, J.-J., Zhu, W.-L., Li, Y.-Q., Liu, J.-Z., Xie, S.-N., Sun, J., & Dong, Z.-D. (2020). Efficacy and profitability of fungicide use to manage *Curvularia* leaf spot of maize. *Crop Protection*, 132, 105126. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105126>
15. Mallowa, S. O., Esker, P. D., Paul, P. A., Bradley, C. A., Chapara, V. R., Conley, S. P., & Robertson, A. E. (2015). Effect of maize hybrid and foliar fungicides on yield under low foliar disease severity conditions. *Phytopathology*, 105 (8), 1080–1089. <https://doi.org/10.1094/phyto-08-14-0210-r>
16. Hollis, M. E., Pate, R. T., Mideros, S., Fellows, G. M., Akins, M., Murphy, M. R., & Cardoso, F. C. (2019). Foliar fungicide application effects on whole plant BMR and floury corn varieties, and whole plant corn silage composition. *Animal Feed Science and Technology*, 257, 114264. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114264>
17. Thapa, S., Xue, Q., Becker, J., Jessup, K. E., Bell, J., Marek, T., Sirmon, P., & Bean, B. (2024). Effect of foliar fungicide application timing on corn yield across different water regimes. *Journal of Crop Improvement*, 38 (5), 550–567. <https://doi.org/10.1080/15427528.2024.2376712>
18. Emerson, M., & Faske, T. R. (2024). Evaluation of foliar fungicides for frogeye leaf spot control and yield protection in soybean in Arkansas. *Crop Protection*, 178, 106572. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106572>
19. Thompson, M., & Raizada, M. (2018). Fungal pathogens of maize gaining free passage along the Silk Road. *Pathogens*, 7 (4), 81. <https://doi.org/10.3390/pathogens7040081>
20. Lanubile, A., Maschietto, V., Borrelli, V. M., Stagnati, L., Logrieco, A. F., & Marocco, A. (2017). Molecular basis of resistance to fusarium ear rot in maize. *Frontiers in Plant Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01774>
21. Telenko, D. E. P., Chilvers, M. I., Ames, K., Byrne, A. M., Check, J. C., Da Silva, C. R., Jay, W. S., Mueller, B., Ross, T. J., Smith, D. L., & Tenuta, A. U. (2022). Fungicide efficacy during a severe epidemic of tar spot on corn in the United States and Canada in 2021. *Plant Health Progress*, 23 (3), 342–344. <https://doi.org/10.1094/php-02-22-0012-br>
22. Ons, L., Bylemans, D., Thevissen, K., & Cammue, B. P. A. (2020). Combining biocontrol agents with chemical fungicides for integrated plant fungal disease control. *Microorganisms*, 8 (12), 1930. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8121930>
23. Kusstatscher, P., Wicaksono, W. A., Thenappan, D. P., Adam, E., Müller, H., & Berg, G. (2020). Microbiome management by biological and chemical treatments in maize is linked to plant health. *Microorganisms*, 8 (10), 1506. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8101506>
24. Blandino, M., Scarpino, V., Testa, G., Vanara, F., & Reyneri, A. (2022). The effect of foliar fungicide and insecticide application on the contamination of fumonisins, moniliformin and deoxynivalenol in maize used for food purposes. *Toxins*, 14 (7), 422. <https://doi.org/10.3390/toxins14070422>
25. Bradley, C. A., Kenimer, R. C., Shockley, J. M., & Wise, K. A. (2020). Effect of Benzovindiflupyr + Azoxystrobin + Propiconazole fungicide applied at different growth stages on foliar disease severity, grain yield, and economic benefit of hybrid corn grown in Kentucky. *Plant Health Progress*, 21 (3), 162–165. <https://doi.org/10.1094/php-12-19-0099-rs>

ORCID

K. Koba  <https://orcid.org/0009-0003-8223-4862>
M. Marenych  <https://orcid.org/0000-0002-8903-3807>



© 2024 Koba K. and Marenych M. This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.