https://doi.org/10.15407/frg2019.01.067
УДК 581.132:632.954:633.15

ВПЛИВ ФУНГІЦИДІВ І ДОБРИВ НА ВМІСТ МІКОТОКСИНІВ У ЗЕРНІ ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ СОРТІВ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ

О.Ю. САНІН[1], Л.М. МИХАЛЬСЬКА[1], Ю.А. ДОЛГАЛЬОВА[2], О.Л. ЗОЗУЛЯ[2], В.В. ШВАРТАУ[1]

[1]Інститут фізіології рослин і генетики Національної академії наук України
03022 Київ, вул. Васильківська, 31/17
[2]Товариство з обмеженою відповідальністю «Сингента»
02000 Київ, вул. Козацька, 120/4
e-mail: victorschwartau@gmail.com

Необхідність належного захисту агрофітоценозів від фузаріозу є невирішеною складною проблемою рослинництва в Україні. Застосування фунгіцидів у поєднанні з добривами, насамперед мікроелементами — складовими редокс-гомеостазу та амінокислотами, на нашу думку, може підвищити ефективність контролювання збудників фузаріозів. Метою роботи було визначення мікотоксинів у зерні високопродуктивних сортів озимої пшениці за внесення фунгіцидів у композиціях із мікроелементами та амінокислотами. Аналітичні дослідження з визначення мікотоксинів у зерні виконували із застосуванням тест-систем Ridascreen® (R-Biopharm AG, Німеччина). Порівнянням двох високопродуктивних сортів озимої пшениці щодо накопичення мікотоксинів встановлено, що зерно пшениці короткостеблового сорту Смуглянка накопичувало більше мікотоксинів у контрольному, без обробок фунгіцидами й добривами, варіанті, ніж зерно середньорослого сорту Подолянка. Вірогідно, це може свідчити про вищу резистентність сорту Подолянка до ураження збудниками видів *Fusarium*. Якщо вміст Т-2 токсину у зерні пшениці Подолянка був дещо меншим порівняно з його вмістом у зерні пшениці Смуглянка, то вміст дезоксиніваленолу (DON) був нижчим майже у 2 рази, а вміст зеараленону (ZEA) у зерні сорту Подолянка не детектувався ІФА тест-системами Ridascreen®. Обробка рослин обох сортів пшениці добривом — композицією мікроелементів та амінокислот — не впливала на рівні накопичення DON і ZEA, а вміст Т-2 токсину в обох сортів мав тенденцію до зниження. За внесення фунгіциду альто супер рівні накопичення мікотоксинів у зерні пшениці обох сортів практично не змінювались. Така дія узгоджується з низьким рівнем контролювання збудників фузаріозу фунгіцидом. Застосування композиції альто супер 330 ЕС, 0,5 л/га + брексил мікс, 0,5 кг/га + мегафол, 2,0 л/га супроводжувалось зниженням вмісту Т-2 токсину і DON; вміст ZEA залишався на рівні контролю й варіанта з фунгіцидом без добрива. У разі застосування амістар екстра 280 SC, KC, 0,7 л/га та магнелло 350 EC, KE, 1,0 л/га вміст DON знижувався в зерні обох сортів пшениці, а вміст Т-2 токсину і ZEA не змінювався. Добавляння до цих фунгіцидів добрив брексил мікс, 0,5 кг/га + + мегафол, 2,0 л/га забезпечувало зниження вмісту й Т-2 токсину. Вміст у зерні ZEA практично не відрізнявся в усіх варіантах досліду, що свідчить

© О.Ю. САНІН, Л.М. МИХАЛЬСЬКА, Ю.А. ДОЛГАЛЬОВА, О.Л. ЗОЗУЛЯ, В.В. ШВАРТАУ, 2019

насамперед про високу резистентність обох сортів пшениці до ураження збудниками хвороб, в яких у вторинному метаболізмі синтезуються сполуки з естрогенною активністю. За низького фону ZEA в зерні у контролі й варіантах досліду не можна визначити роль мікроелементів в інгібуванні синтезу сполук з естрогенною активністю й, відповідно, вплив на контамінацію зерна мікотоксином ZEA. Таким чином, застосуванням досліджених фунгіцидів можна зменшити вміст небезпечних для людини і свійських тварин мікотоксинів у зерні високопродуктивних сортів озимої пшениці. Застосування мікроелементів — складових редокс-систем рослин, які формують реакції рослин на дію біотичних та абіотичних стресів, та азоту у формі амінокислот позакоренево у композиціях із фунгіцидами посилює їх ефективність у зниженні вмісту мікотоксинів у зерні.

Ключові слова: Fusarium L.*,* ураження зерна, мікотоксини, фунгіциди, мікроелементи, амінокислоти.

За даними ФАО очікується, що попит на сільськогосподарські культури і продукти харчування до 2050 р. зросте удвічі, а чисельність населення світу може досягнути 9 млрд осіб [1, 5]. Збільшення кількості та якості продуктів потребуватиме зростання продуктивності сільського господарства, належні методи ведення якого (Good Agricultural Practice — GAP) часто у поєднанні з ефективним використанням ресурсів є одним із перспективних шляхів росту продуктивності агровиробництва. Провідні виробники сільськогосподарської продукції України намагаються розбудовувати інфраструктуру господарств і технології вирощування культур із позицій забезпечення сталого розвитку, щоб збільшити виробництво і поліпшити якість рослинницької продукції [4]. Проте контамінація агрофітоценозів мікотоксинами обмежує продуктивність світового рослинництва [10].

В останні роки фітосанітарний стан посівів озимої пшениці погіршується. Фузаріоз колоса та фузаріозна коренева гниль — одні з найбільш шкодочинних хвороб зернових колосових культур. Значна поширеність, відсутність вузької спеціалізації в ураженні рослин-хазяїнів, потужні міграційні процеси інокулюму на значні відстані, тривалі терміни збереження життєздатності на рослинних рештках і в ґрунті зумовлюють постійну наявність в агрофітоценозах культурних рослин, насамперед зернових колосових культур, численних грибів різних видів *Fusarium* — збудників кореневих гнилей, хвороб вегетативних і генеративних органів рослин. За багаторічними даними авторів, від ураження фузаріозами щорічний недобір урожаю зерна пшениці може досягати 4—15 %, а в умовах епіфітотій, які на теренах України спостерігаються кожні 3—5 років, втрати урожаю на окремих полях можуть перевищувати 50 %. Ураження зернових культур збудниками фузаріозів знижує харчові якості зерна, воно стає небезпечним для здоров'я людини і сільськогосподарських тварин унаслідок накопичення мікотоксинів. Забруднення збіжжя мікотоксинами вище від законодавчо затверджених рівнів робить урожай непридатним для споживання.

На насіннєвому матеріалі зернових колосових культур виявлено сім видів роду *Fusarium*: *F. avenaceum*, *F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. langsethiae*, *F. poae*, *F. sporotrichioides*, *F. tricinctum* [2]. Домінують се-

ред них три — *F. graminearum, F. sporotrichioides*, *F. poae*, які загалом становлять 83 % усіх знайдених видів. Певну загрозу чинив і *F. langsethiae*, який траплявся на 11 % насіння зернових культур. Усі інші види були супутніми, а їх частка — незначною. Види *Fusarium* продукують широкий перелік мікотоксинів: A-DON (ацетилдезоксиніваленол), DON (дезоксиніваленол), DAS (діацетоксисцирпенол), FUC (фузарохроманон), FUS C (фузарин C), FUS X (фузаренон X), MAS (моноацетоксисцирпенол), MON (моніліформін), NEO (неозоланіол), NIV (ніваленол), ZEA (зеараленон), BEA (боверицин), T-2 токсин.

Помітну частку (понад 21 %) має *F. graminearum*. Вид зустрічається практично в усіх зонах вирощування зернових культур. Його поширення на північ пов'язане з пом'якшенням клімату, а зростання рівня в агрофітоценозах — зі збільшенням посівних площ кукурудзи.

Для *F. graminearum* характерний широкий поліморфізм. На сьогодні описано 13 різних підвидів цього гриба. Вони відрізняються продукуванням деяких токсинів, але для всіх них основним є дезоксиніваленол (вомітоксин) [6, 20].

Зеараленон (ZEA, ZON, F-2 токсин) — переважно польова забруднювальна сполука, яка виявляє естрогенну активність і викликає численні мікотоксикози сільськогосподарських тварин, особливо свиней. Останні дані свідчать про те, що зеараленон має потенціал для стимуляції росту клітин раку молочної залози людини. Фумонізини також є метаболітами, що спричинюють рак, з яких найважливіший фумонізин B1. Моніліформін (MON) також дуже токсичний як для тварин, так і для людей. Трихотецени класифікують як шлунково-кишкові токсини, дермато-, імуно-, гематотоксини та генні токсини. Токсини T-2 й HT-2, а також діацетоксицирпенол (DAS, ангіїдин) найтоксичніші мікотоксини серед групи трихотеценів. Дезоксиніваленол і ніваленол хоча й менш токсичні, важливі, бо часто наявні в кількостях, достатніх, щоб спричинити негативні ефекти. Наявність значної кількості мікотоксинів у основних харчових компонентах підтверджує необхідність втілення програми їх профілактики і контролю. Такі програми зазвичай базуються на інтегральних підходах щодо мінімізації забруднення мікотоксинами харчового ланцюга [13].

У країнах Євросоюзу максимальна припустима концентрація DON становить 0,5 мкг/г зернових культур, у США — 1 мкг/г харчових продуктів. Спостерігали масові ураження людей, які споживали хліб, випечений із забрудненого збудниками *Fusarium* пшеничного борошна. У результаті харчової токсикації розвивався агранулоцитоз, смертність досягала високого рівня [11]. Корми, виготовлені з ураженого мікотоксинами зерна, можуть спричинити тяжкі захворювання свійських тварин.

Велика лабільність реакції мікроміцетів роду *Fusarium* на чинники навколишнього середовища та відносно невисокі рівні контролювання збудників видів *Fusarium* фунгіцидами (не вище за 60 %) призвели до збільшення їх кількості в агрофітоценозах країни через скорочення числа сівозмін та ослаблення конкурентної боротьби між різними видами патогенів. Проблема захисту сільськогосподарських рослин від фузаріозу актуальна й сьогодні [8, 9, 19].

Із часу ідентифікації афлатоксину в 1960-х роках було розроблено численні методичні підходи з визначення переважної більшості відомих на сьогодні мікотоксинів. Головними вимогами до якості аналітичних досліджень є відтворюваність і висока точність детектування наявності збудників і мікотоксинів.

Існує багато методів детектування збудників видів *Fusarium* та їх ідентифікації [3, 16]. Істотно підвищують швидкість і точність аналізів методи імуноферментного аналізу ELISA/ІФА та застосування підходів мультихвильового сканування уражених поверхонь [12, 18]. Недоліками імунодетектування мікотоксинів є те, що, незважаючи на велику кількість відомих мікотоксинів, методи ідентифікації розроблено на відносно малу частку домінуючих ксенобіотиків, передусім DON, ZEA, T-2/HT-2 [12].

Підвищення продуктивності зернових культур пов'язане зі створенням сортів високоінтенсивного типу, які швидко накопичують біомасу, та впровадженням належних технологій вирощування. При цьому застосування фунгіцидів і добрив, насамперед мікроелементів — складових редокс-гомеостазу та амінокислот, на нашу думку, можуть бути важливими чинниками ефективного контролювання збудників фузаріозів.

Метою роботи було визначення мікотоксинів у зерні високопродуктивних сортів озимої пшениці за внесення фунгіцидів у композиціях з мікроелементами та амінокислотами.

Методика

Польові дослідження із сортами озимої пшениці (*Triticum aestivum* L.) Смуглянка і Подолянка проводили у Дослідному сільськогосподарському виробництві Інституту фізіології рослин і генетики (ІФРГ) НАН України в смт Глеваха Васильківського р-ну Київської обл. Площа облікових ділянок 10 м^2, повторність дослідів — п'яти-шестиразова. У Київській області — регіоні проведення досліджень 2017 р. був несприятливий для розвитку збудника фузаріозу пшениці. Період весняно-літньої вегетації вирізнявся подовженими періодами посухи. У квітні—липні 2017 р. сума опадів становила 45—90 % середньої багаторічної норми.

Посіви озимої пшениці обох сортів обробляли одноразово, навесні у фазу BBCH 37 такими засобами: амістар екстра 280 SC, к. с. (80 г/л ципроконазол + 200 г/л азоксистробін), альто супер 330 EC, к. е. (80 г/л ципроконазол + 250 г/л пропіконазол), магнелло 350 EC, KE (100 г/л дифеноконазол + 250 г/л тебуконазол), у дозах відповідно 0,6; 1,5; 1,0 л/га, а також комплексом макро- і мікроелементів брексил мікс (Mg — 6, B — 1,2, Fe — 0,6, Mn — 0,7, Zn — 5, Cu — 0,8, Mo — 1,0 %) та комплексом макро- і мікроелементів із вмістом амінокислот із гідролізатів рослин — мегафол (всього амінокислот 28,0 %; азоту всього 3,0 %, у тому числі органічного 1,0 %, амідного 2,0 %; розчинний калій (K_2O) 8,0 %; органічний вуглець рослинного походження 9,0 %), 1,5 л/га (Valagro, Італія).

Протягом вегетації рослини обробляли фунгіцидами й інсектицидами, зокрема у фази кущіння, цвітіння та по прапорцевому листку. Проводили підживлення рослин і фенологічні спостереження.

ТАБЛИЦЯ 1. Накопичення мікотоксинів у рослинницькій продукції країн Східної Європи [RASFF Annual Report, 2014]

Показник	Afla	ZEN	DON	FUM	OTA
Число тестів	37	52	54	35	35
Тести з перевищенням лімітів накопичення мікотоксинів, %	27	23	56	49	37
Середній вміст мікотоксинів, мкг/кг	4	205	552	1219	3
Максимальний рівень накопичення мікотоксинів, мкг/кг	7	670	3166	4750	9

Збирали урожай прямим комбайнуванням. Вміст білка в зерні озимої пшениці визначали за кількістю азоту методом К'єльдаля, а також за допомогою інфрачервоного аналізатора Inframatic 6300 фірми Perten.

Аналітичні дослідження з визначення мікотоксинів у зерні виконували в діагностичній лабораторії ТОВ «Сингента» у Білій Церкві із застосуванням тест-систем Ridascreen® (R-Biopharm AG, Німеччина): Ridascreen®DON, Ridascreen®Zearalenon, Ridascreen®T-2 Toxin.

Результати та обговорення

При аналізі забруднення рослинницької продукції мікотоксинами у світі та в Україні виявлено їх накопичення у великих кількостях. Для регіонів із високим рівнем зерновиробництва забруднення мікотоксинами є загальною проблемою (табл. 1) [7, 15, 17].

Мікотоксини Т-2, DON належать до трихотеценів і синтезуються у вторинному метаболізмі видів *Fusarium*. Т-2 є потужним інгібітором синтезу білка, синтезується переважно у *Fusarium langsethiae*, проте види *Fusarium poae* і *Fusarium sporotrichioides* також можуть його продукувати. DON синтезується видами *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. crookwellense*, *F. sporotrichioides*, *F. poae*, *F. tricinctum* та *F. acuminatum* [14], ZEA, ZON, F-2 токсин — *F. graminearum* та іншими видами *Fusarium* і має фітоестрогенну активність. ZEA — це 6-(10-гідрокси-6-оксо-*trans*-1-андеценіл)-β-резорцилату μ-лактон.

Згідно з вимогами державного стандарту України (ДСТУ 3768—2010. Пшениця. Технічні умови), законодавчо регламентовані доволі низькі допустимі рівні мікотоксинів у зерні пшениці: Т-2 — 0,1; DON — 0,5; ZEA — 1,0 мг/кг.

Порівнянням двох високопродуктивних сортів озимої пшениці щодо накопичення мікотоксинів встановлено, що зерно пшениці короткостеблового сорту Смуглянка накопичувало більше мікотоксинів у контрольному, без обробок фунгіцидами й добривами, варіанті, ніж зерно середньорослого сорту Подолянка. Вірогідно, це може свідчити про вищу резистентність сорту Подолянка до ураження збудниками видів *Fusarium*. Якщо вміст Т-2 у зерні пшениці Подолянка був дещо меншим порівняно з його вмістом у зерні пшениці Смуглянка, то вміст DON був нижчим майже у 2 рази, а вміст ZEA у зерні сорту Подолянка не детектувався ІФА тест-системами Ridascreen®.

Обробка рослин обох сортів пшениці добривом — композицією мікроелементів та амінокислот — не впливала на рівні накопичення DON і ZEA, а вміст Т-2 в обох сортів мав тенденцію до зниження.

ТАБЛИЦЯ 2. Вміст мікотоксинів у зерні озимої пшениці високопродуктивних сортів Смуглянка і Подолянка у 2017 р.

Варіант	Смуглянка			Подолянка		
	Вміст мікотоксинів, мг/кг					
	T-2	DON	ZEA	T-2	DON	ZEA
Контроль	0,016	0,012	0,0001	0,013	0,005	0,0000
Брексил, 0,5 кг/га + мегафол, 2,0 л/га	0,010	0,013	0,0001	0,011	0,003	0,0001
Альто супер 330 ЕС, 0,5 л/га	0,015	0,012	0,0001	0,013	0,003	0,0001
Альто супер 330 ЕС, 0,5 л/га + брексил, 0,5 кг/га + мегафол, 2,0 л/га	0,008	0,003	0,0001	0,008	0,005	0,0001
Амістар екстра 280 SC, KC, 0,7 л/га	0,016	0,005	0,0001	0,008	0,004	0,0000
Амістар екстра 280 SC, KC, 0,7 л/га + + брексил, 0,5 кг/га + мегафол, 2,0 л/га	0,010	0,004	0,0001	0,008	0,004	0,0001
Магнелло 350 ЕС, КЕ, 1,0 л/га	0,019	0,005	0,0001	0,009	0,004	0,0001
Магнелло 350 ЕС, КЕ, 1,0 л/га + + брексил, 0,5 кг/га + мегафол, 2,0 л/га	0,008	0,005	0,0000	0,009	0,004	0,0000
Рівень детектування тест-систем ІФА	2 мкг/кг	0,5—0,8 мкг/кг	50—1750 нг/кг	2 мкг/кг	0,5—0,8 мкг/кг	50—1750 нг/кг

За внесення фунгіциду альто супер рівні накопичення мікотоксинів у зерні пшениці обох сортів практично не змінювались. Така дія узгоджується з низьким рівнем контролювання збудників фузаріозу фунгіцидом. Застосування композиції альто супер 330 ЕС, 0,5 л/га + + брексил мікс, 0,5 кг/га + мегафол, 2,0 л/га супроводжувалось зниженням вмісту T-2 і DON; вміст ZEA залишався на рівні контролю і варіанта з фунгіцидом без добрива. У разі застосування амістар екстра 280 SC, KC, 0,7 л/га та магнелло 350 ЕС, КЕ, 1,0 л/га DON знижувався в зерні у обох сортів пшениці, а вміст T-2 і ZEA не змінювався. Добавляння до цих фунгіцидів добрив брексил мікс, 0,5 кг/га + мегафол, 2,0 л/га забезпечувало зниження вмісту й мікотоксину T-2.

Вміст у зерні ZEA практично не відрізнявся в усіх варіантах досліду (табл. 2), що свідчить насамперед про високу резистентність обох сортів пшениці до ураження збудниками хвороб, в яких у вторинному метаболізмі синтезуються сполуки з естрогенною активністю. За низького фону ZEA в зерні у контролі й варіантах досліду не можна визначити роль мікроелементів в інгібуванні синтезу сполук з естрогенною активністю й, відповідно, вплив на контамінацію зерна мікотоксином ZEA.

Отже, застосуванням досліджених фунгіцидів можна зменшити вміст небезпечних для людини і свійських тварин мікотоксинів у зерні високопродуктивних сортів озимої пшениці.

Велика лабільність реакції мікроміцетів роду *Fusarium* на фактори навколишнього середовища часто призводить до відсутності накопичення мікотоксинів за наявності збудників у рослинах. Також рівні контролювання фузаріозів фунгіцидами залишаються недостатніми. Застосування мікроелементів — складових редокс-систем рослин, які формують реакції рослин на дію біотичних та абіотичних стресів, та азо-

ту у формі амінокислот позакоренево у композиціях із фунгіцидами посилює їх ефективність у зниженні вмісту мікотоксинів у зерні.

REFERENCES

1. Morgun, V.V., Schwartau, V.V. & Kiriziy, D.A. (2010). Physiological basis of the formation of high productivity of cereals. Fiziol. i Biokhim. Kult. Rastenij, 42, No.5, pp. 371-392 [in Russian].
2. Schwartau, V.V., Zozulya, O.L., Mikhals'ka, L. M. & Sanin, O.Yu. (2016). Fusariosis of plant crops. Kyiv: Logos [in Ukrainian].
3. Berthiller, F., Brera, C., Crews, C. Iha, M.H., Krsha, R., Jonker, M.A., MacDonald, S.,Malone, R.J., Maragos, C., Solfrizzo,M., Sabino, M., Whitakeret,T.B. & van Egmond, H. (2015). Developments in mycotoxin analysis: an update for 2013-2014. World Mycotoxin Journal, 8, No. 1, pp. 5-35.
4. FAO GAP Principles, 2012. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Accessed July 2012; Good Agricultural Practices Minimize Food Safety Risks. Almond Board of California. Retrieved 15 July 2012; New Good Agricultural Practices (GAP) Manual is Available. Joint Institute for Food Safety and Applied Nutrition, University of Maryland. Retrieved 15 July 2012, https://www.ams.usda.gov/services/auditing/groupgap
5. Godfray, H.C.J., Beddington, I.R., Crute, L., Haddad, J.R., Lawrence, D., Muir, J.F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S.M. & Toulmin, C. (2010). Food security: the challenge of feeding 9 billion people. Science, 327, pp. 812-818.
6. Jennings, P., Coates, M.E., Walsh, K., Turner, J.A. & Nicholson, P. (2004). Determination of deoxynivalenol- and nivalenol-producing chemotypes of Fusarium graminearum isolated from wheat crops in England and Wales. Plant Pathol., 53, pp. 643-652.
7. Kovalsky, P. (2014). Climate change and mycotoxin prevalence. Broadening Horizons.
8. Leslie, J.F., Summerell, B.A. & Bullock, S. (2006) The Fusarium Laboratory Manual. Blackwell Publishing.
9. Landschoot, S. Waegeman, W. & Audenaert, K. (2012). A field-specific web tool for the prediction of *Fusarium* head blight and DON content in Belgium. Abstracts of 64th Intern. Symp. of Crop Protection. Ghent, Belgium.
10. Liew, W.P. & Mohd-Redzwan, S. (2018). Mycotoxin: Its Impact on Gut Health and Microbiota. Front Cell Infect Microbiol., 8, pp. 60. doi: 10.3389/fcimb.2018.00060.
11. Mayer, C.F. (1953). Endemic panmyelotoxicosis in the Russian grain belt. I. The clinical 930 aspects of alimentary toxic aleukia (ATA). A comprehensive review. Military Surgeon, 113, pp. 173-189.
12. Meneely, J.P., Ricci, F., Egmond, H.P. & Elliott, C.T. (2011). Current methods of analysis for the determination of trichothecene mycotoxins in food. Trends Analyt. Chem., 30, pp. 192-203.
13. Nesic, K·, Ivanovic, S. & Nesic, V. (2014). Fusarial toxins: secondary metabolites of Fusarium fungi. Rev. Environ. Contam. Toxicol., 228, pp. 101-120. doi: 10.1007/978-3-319-01619-1_5.
14. Pittet, A. (1998). Natural occurrence of mycotoxins in foods and feeds — An updated review. Revue de medecine veterinaire, 149, No. 6, pp. 479-492.
15. Rodrigues, I. & Naehrer, K. (2012). A three-year survey on the worldwide occurrence of mycotoxins in feedstuffs and feed. Toxins, 4, pp. 663-675. doi: 10.3390/toxins4090663
16. Shephard, G.S., Berthiller, F., Burdaspal, P.A., Crews, C., Jonker, M.A., Krska, R., MacDonald, S., Malone, B., Maragos, C., Sabino, M., Solfrizzo, M. van Egmond, H.P. & Whitaker, T.B. (2012). Developments in mycotoxin analysis: an update for 2010—2011. World Mycotoxin J., 5, pp. 3-30.
17. Streit, E., Schatzmayr, G., Tassis, P., Tzika, E. & Marin, D. (2012). Current situation of mycotoxin contamination and co-occurence in animal feed-focus on Europe. Toxins, 4, pp. 788-809.
18. Tittlemier, S.A., Roscoe, M., Drul, D., Blagden, R., Kobialka, C., Chan, J. & Gaba, D. (2013). Single laboratory evaluation of a planar waveguide-based system for a simple simultaneous analysis of four mycotoxins in wheat. Mycotoxin Res., 29, pp. 55-62.
19. Trail, F. (2009). For Blighted Waves of Grain: *Fusarium graminearum* in the Postgenomics Era. Plant Physiol., 149, pp. 103-110.

20. Ward, T.J., Clear, R.M., Rooney, A.P., O'Donnell, K., Gaba, D., Patrick, S., Starkey, D.E., Gilbert, J., Geiser, D.M. & Nowicki, T.W. (2008). An adaptive evolutionary shift in Fusarium head blight pathogen populations is driving the rapid spread of more toxigenic Fusarium graminearum in North America. Fungal Genetics and Biology, 45, No. 4, pp. 473-484.

Received 12.12.2018

ВЛИЯНИЕ ФУНГИЦИДОВ И УДОБРЕНИЙ НА СОДЕРЖАНИЕ МИКОТОКСИНОВ В ЗЕРНЕ ВЫСОКОПРОДУКТИВНЫХ СОРТОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

А.Ю. Санин[1], Л.Н. Михальская[1], Ю.А. Долгалева[2], О.Л. Зозуля[2], В.В. Швартау[1]

[1] Институт физиологии растений и генетики Национальной академии наук Украины, Киев
[2] Общество с ограниченной ответственностью «Сингента», Киев

Необходимость надлежащей защиты агрофитоценозов от фузариоза относится к нерешенной сложной проблеме растениеводства в Украине. Применение фунгицидов в сочетании с удобрениями, прежде всего микроэлементами — компонентами редокс-гомеостаза и аминокислотами, по нашему мнению, может повысить эффективность контролирования возбудителей фузариоза. Целью работы было определение микотоксинов в зерне высокопродуктивных сортов озимой пшеницы при внесении фунгицидов в композициях с микроэлементами и аминокислотами. Аналитические исследования по определению микотоксинов в зерне выполняли с применением тест-систем Ridascreen® (R-Biopharm AG, Германия). Сравнением двух высокопродуктивных сортов озимой пшеницы по уровням накопления микотоксинов установлено, что зерно пшеницы короткостебельного сорта Смуглянка накапливало больше микотоксинов в контрольном, без обработок фунгицидами и удобрениями, варианте, чем зерно среднерослого сорта Подолянка. Вероятно, это может свидетельствовать о более высокой резистентности сорта Подолянка к поражению возбудителями видов *Fusarium*. Если содержание Т-2 токсина в зерне пшеницы Подолянка было несколько меньше по сравнению с его содержанием в зерне пшеницы Смуглянка, то содержание дезоксиниваленола (DON) было ниже почти в 2 раза, а содержание зеараленона (ZEA) в зерне сорта Подолянка не детектировалось ИФА тест-системами Ridascreen®. Обработка растений обоих сортов пшеницы удобрением — композицией микроэлементов и аминокислот - не влияла на уровни накопления DON и ZEA, а содержание Т-2 токсина у обоих сортов имело тенденцию к снижению. При внесении фунгицида альто супер уровни накопления микотоксинов в зерне пшеницы обоих сортов практически не менялись. Такое действие согласуется с низким уровнем контроля возбудителей фузариоза фунгицидом. Применение композиции альто супер 330 ЕС, 0,5 л/га + брексил микс, 0,5 кг/га + мегафол, 2,0 л/га сопровождалось снижением содержания Т-2 токсина и DON; содержание ZEA оставалось на уровне контроля и варианта с фунгицидом без удобрения. В случае применения амистар экстра 280 SC, КС, 0,7 л/га и магнелло 350 ЕС, КЭ, 1,0 л/га содержание DON снижалось в зерне обоих сортов пшеницы, а содержание Т-2 токсина и ZEA не менялось. Добавление к этим фунгицидам удобрений брексил микс, 0,5 кг/га + мегафол, 2,0 л/га обеспечивало снижение содержания и Т-2 токсина. Содержание в зерне ZEA практически не отличалось во всех вариантах опыта, что свидетельствует прежде всего о высокой резистентности обоих сортов пшеницы к поражению возбудителями болезней, у которых во вторичном метаболизме синтезируются соединения с эстрогенной активностью. При низком фоне ZEA в зерне в контроле и вариантах опыта затруднительно определить роль микроэлементов в подавлении синтеза соединений с эстрогенной активностью и, соответственно, влияние на контаминацию зерна микотоксином ZEA. Таким образом, применением фунгицидов можно уменьшить содержание опасных для человека и домашних животных микотоксинов в зерне высокопродуктивных сортов озимой пшеницы. Использование микроэлементов — составляющих редокс-систем растений, которые формируют реакции растений на действие биотических и абиотических стрессов, и азота в форме аминокислот во внекорневых обработках в композициях с фунгицидами усиливает их эффективность в снижении содержания микотоксинов в зерне.

Ключевые слова: Fusarium L., поражение зерна, микотоксины, фунгициды, микроэлементы, аминокислоты.

INFLUENCE OF FUNGICIDES AND FERTILIZERS ON THE CONTENTS OF MYCOTOXINS IN GRAIN OF HIGHLY PRODUCTIVE WINTER WHEAT VARIETIES

O.Yu. Sanin[1], L.M. Mikhalska[1], Y.A. Dolhalova[2], O.L. Zozulya[2], V.V. Schwartau[1]

[1]Institute of Plant Physiology and Genetics, National Academy of Sciences of Ukraine
31/17 Vasylkivska, St., Kyiv, 03022, Ukraine
[2]«Singenta» Ltd
120/4 Cossack, St., Kyiv, 02000, Ukraine
e-mail: victorschwartau@gmail.com

The need for effective control of Fusarium pathogens in agrophytocenoses is an unsolved complex problem of crop production in Ukraine. The use of fungicides in composition with fertilizers, first of all, trace elements — components of redox homeostasis and amino acids, in our opinion, can increase the effectiveness of control of Fusarium pathogens. The aim of the work was the determination of mycotoxins in the grain of high-yielding varieties of winter wheat under the influence of fungicides in compositions with trace elements and amino acids. Analytical studies on the determination of mycotoxins in the grain were performed using Ridascreen® test systems (R-Biopharm AG, Germany). Comparing the two high-yielding varieties of winter wheat by the levels of mycotoxin accumulation, it was established that the semi-dwarf wheat Smuglyanka accumulated more mycotoxins in the control, without treatments with fungicides and fertilizers, than the grain of the medium tall variety Podolyanka. Probably, this may indicate a higher resistance of the Podolyanka variety to damage by pathogens of Fusarium species. If the content of T-2 toxin in the grain of Podolyanka variety was slightly less than its content in the grain of Smuglyanka, the desoxynivalenol (DON) content was almost 2 times lower, and the zearalenone (ZEA) content in the grain of Podolyanka was not detected by ELISA with Ridascreen® test systems. The treatment of plants of both wheat varieties with fertilizer — a composition of trace elements and amino acids — did not affect the levels of accumulation of DON and ZEA, and the T-2 toxin content in both varieties tended to decrease. When the Alto super fungicide was applied, the levels of mycotoxin accumulation in the wheat grain of both varieties remained almost unchanged. This action is consistent with a low level of control of Fusarium pathogens by this fungicide. The use of the composition Alto super 330 EC, 0.5 l/ha + Brexil mix, 0.5 kg/ha + Megafol, 2.0 l/ha was accompanied by a decrease in the content of T-2 toxin and DON; the content of ZEA remained at the level of the control and the variant with the fungicide without fertilizer. In the case of Amistar extra 280 SC, KS, 0.7 l/ha and Magnello 350 EC, CE, 1.0 l/ha, the content of DON decreased in the grain of both wheat varieties, and the content of T-2 toxin and ZEA did not change. Adding to these fungicides fertilizers Brexil mix, 0.5 kg/ha + Megafol, 2.0 l/ha provided a reduction in the content T-2 toxin. The ZEA content in grain is almost the same in all the variants of the experiment, which indicates, above all, the high resistance of both wheat varieties to damage by pathogens that have compounds with estrogenic activity synthesized in the secondary metabolism. With a low background ZEA in the grain in the control and test options, it is difficult to determine the role of trace elements in suppressing the synthesis of compounds with estrogenic activity and, accordingly, the effect on grain contamination with ZEA mycotoxin. Thus, the use of the fungicides can reduce the content of mycotoxins dangerous for humans and domestic animals in the grain of highly productive varieties of winter wheat. The use of trace elements — components of plant redox systems that form plant responses to biotic and abiotic stresses and nitrogen in the form of amino acids in foliar treatments in compositions with fungicides enhances their effectiveness in reducing the mycotoxin content in the grain.

Key words: *Fusarium* L., grain damage, mycotoxins, fungicides, microelements, amino acids.