

Problematyka porażenia grzybami *Fusarium* w uprawach zbóż oraz związane z tym występowanie w ziarnie mikotoksyn i ich szkodliwość dla zwierząt

Marcin Różewicz 

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy,
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy*

Problem porażenia zbóż przez *Fusarium* w tracie wzrostu na polu

Fuzarioza kłosów jest chorobą grzybową, która występuje w wielu rejonach świata i uważana jest za jeden z głównych czynników wpływających na wielkość i jakość uzyskanych plonów ziarna. Powodowana jest przez grzyby należące do rodzaju *Fusarium*, głównie *F. culmorum* i *F. graminearum* (Bottalico i Perrone, 2002). Grzyby z rodzaju *Fusarium* jako anamorficzne są nazywane grzybami pleśniowymi (nie tworzą zarodników). Grzyby namnażają się, co skutkuje znacznym ubytkiem plonu, a także pogorszeniem jego jakości (Xu i in., 2005). Powszechnie występują w glebie, szczególnie żyznej, gdzie bytują jako saprofity, które żywią się martwą materią organiczną. Są one dobrze przystosowane do zmieniających się warunków atmosferyczno-glebowych i cechują się dużą tolerancją w stosunku do czynników abiotycznych środowiska, a także rozwijają się w dużym zakresie temperatur, tj. 0–30°C. Fuzarioza kłosów występuje na wszystkich gatunkach zbóż w naszej strefie klimatycznej (pszenica, żyto, pszenżyto, owies, jęczmień, kukurydza).

Porażenie kłosów przez grzyby z rodzaju *Fusarium* powoduje obniżenie plonowania, wynikające z mniejszej masy 1000 ziaren, liczby ziaren z kłosa i masy ziaren z kłosa. Grzyby powodują zmniejszenie wartości handlowej i kon-

sumpcyjnej poprzez zmianę składu chemicznego ziarna. Grzyby z rodzaju *Fusarium* mają zdolność tworzenia mikotoksyn, skutkiem czego następuje akumulacja toksyn w ziarnie jeszcze przed żniwami. Do najbardziej mikotoksyntwórczych gatunków zalicza się *F. graminearum* i *F. culmorum*. W Polsce w ziarnie zbóż najczęściej występują: deoksyniwalenol, niwalenol i zearalenon.

Przyczyną dość powszechnego występowania fuzariozy jest duży udział uprawy zbóż w strukturze oraz ograniczone zmianowanie na polu. Na ogół zboża są uprawiane po sobie, a to skutkuje nagromadzeniem się resztek poźniwnych z chorobotwórczym patogenem w glebie (Smagacz i Martyniuk, 2001; Bailey i Lazarovits, 2003). Porażenie roślin przez grzyby mikotoksyntwórcze i produkcja przez nie mikotoksyn powodują reakcję obronną. W wyniku biologicznej transformacji, która obejmuje szereg reakcji enzymatycznych, wolne mikotoksyny są przekształcane w związki mniej szkodliwe, nazywane mikotoksynami modyfikowanymi. Przekształcone mikotoksyny były również określane jako mikotoksyny maskowane, ponieważ ich zmieniona struktura chemiczna sprawia, że w standardowych metodach detekcji wolnych mikotoksyn są one niewykrywalne (Panasiuk i in., 2018). Stanowią one jednak problem w łańcuchu produkcji pasz, bowiem ich niewykrywalność powoduje, że materiał paszowy w postaci ziarna

dopuszczany jest do użytku, ponieważ spełnia wymogi niskiej zawartości mikotoksyn. Jednak, są one w dalszym ciągu problemem dla zdrowia zwierząt z tego względu, że w przewodzie pokarmowym lub w wątrobie są metabolizowane do pierwotnych, wolnych form, które są szkodliwe.

Występowanie fuzarioz w uprawie zbóż jest najczęściej stwierdzane na podstawie charakterystycznych objawów. W fazie kłoszenia obserwuje się wcześniejsze bielenie plew w kłosach oraz ich jasnoróżowe zabarwienie. Są to pierwsze symptomy porażenia przez *Fusarium*. Ocena wizualna i wyznaczenie indeksu porażenia kłosa były dotychczas jedynymi metodami oceny porażania i stopnia odporności poszczególnych odmian zbóż na fuzariozę. Obecnie próbuje się wdrażać nowoczesne, bardziej miarodajne i obiektywne oceny. Jedną z nich jest teledetekcja. Metoda opiera się na porównaniu zdjęć roślin zdrowych ze wzorcami roślin porażonych oraz roślin porażonych ze wzorcami roślin zdrowych. Następnie, uzyskane zdjęcia łanów roślin są podstawą do analizy histogramów długości fal, jak również do wyliczania na ich podstawie wskaźników pozwalających na ocenę zdrowotności upraw (Nieróbca i in., 2009). Zastosowanie metody teledetekcji może być wykorzystane do tworzenia map zdrowotności zbóż porażonych *Fusarium* (Golka i in., 2020).

Przeciwdziałanie porażeniu przez *Fusarium*

Nasilenie występowania fuzariozy kłosów zależy w dużym stopniu od warunków pogody (Szwejkowski i Kurowski, 2009), przedplonu (Woźniak, 2001; Łukanowski i Sadowski, 2008), nawożenia azotem oraz sposobu zwalczania chwastów (Woźniak, 2002). Według Doohana i in. (2003) oraz Czabana i in. (2011), stopień porażenia kłosów przez fuzariozę w dużym stopniu zależy od warunków pogodowych (temperatury i wilgotności). Warunki pogodowe są czynnikiem, który w większym stopniu determinuje infekcję ziarna pszenicy przez *Fusarium* niż zróżnicowanie systemów uprawy roli. Ocena ryzyka wystąpienia fuzariozy oraz modele, które mają na

celu prognozowanie wystąpienia tej choroby są oparte na warunkach pogodowych w okresie od kwitnienia do fazy wczesnej dojrzałości mleczej (Doohan i in., 2003). Także technologia uprawy pszenicy ma wpływ na zasiedlenie kłosów przez *Fusarium*. Czaban i in. (2011) wskazują, że najsilniej porażone były kłosa oraz ziarno pszenicy pochodzącej z obiektów, gdzie zastosowano intensywną technologię uprawy. Zasiedlenie ziarna pszenicy orkisz (Kurowski i Wysocka, 2009) oraz jęczmienia jarego (Baturó i in., 2004) przez grzyby z rodzaju *Fusarium* było niższe w przypadku systemu ekologicznego w porównaniu do systemów integrowanego i konwencjonalnego.

Badania innych autorów (Champeil i in., 2004) potwierdzają, że warunki pogodowe były czynnikiem silniej wpływającym na infekcję ziarna przez grzyby z rodzaju *Fusarium* niż zróżnicowanie systemów uprawy. Łukanowski i Sadowski (2008) wykazali, że ziarniaki pszenicy ozimej uprawianej w systemie ekologicznym były znacznie słabiej zasiedlone przez grzyby z rodzaju *Fusarium* niż w systemie integrowanym i konwencjonalnym. W innych badaniach (Kurowski i Wysocka, 2009; Baturó i in., 2004) zasiedlenie ziarna zbóż przez grzyby z rodzaju *Fusarium* było również niższe w systemie ekologicznym w porównaniu do integrowanego i konwencjonalnego.

Nowoczesną metodą przeciwdziałania porażeniu *Fusarium* jest wykorzystanie preparatów zawierających efektywne mikroorganizmy. Jest to jedna z alternatywnych, biologicznych metod zwalczania patogenów grzybowych, opierająca się o pożyteczne działanie szczepów bakterii. Badania naukowe wykazały, że pewne szczepy bakteryjne mogą być równie skuteczne w ograniczaniu chorób grzybowych co substancje czynne zawarte w fungicydach. Badania Wachowskiej i in. (2020) wykazały, że bakterie z rodzaju *Sphingomonas* hamowały wzrost grzybów z rodzaju *Fusarium* równie skutecznie jak fungicyd triazolowy. Możliwość zastosowania efektywnych mikroorganizmów w ochronie przed porażeniem *Fusarium* była przedmiotem

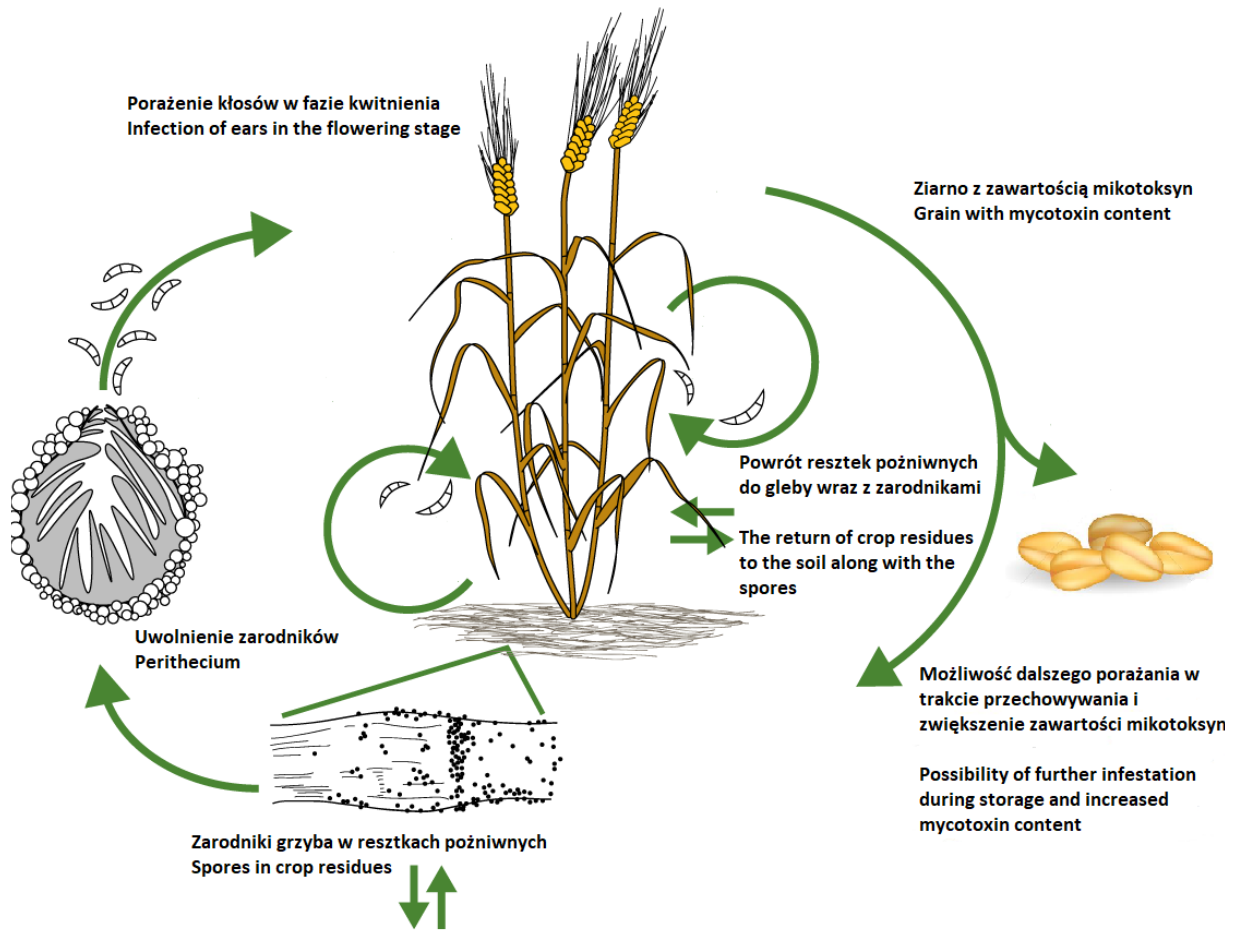
badania Starzyk i Wiśniewskiej (2015). Badacze w doświadczeniu polowym, uprawiając pszenicę jarą odmiany Zebra, wrażliwą na fuzariozę, opryskiwali rośliny preparatem zawierającym efektywne mikroorganizmy. Wyniki tych badań wykazały, że wykorzystanie efektywnych mikroorganizmów jest skuteczną metodą w zwalczaniu fuzariozy. Inną metodą biologiczną jest także wykorzystanie mykowirusów. Mogą one być wykorzystywane jako potencjalne czynniki biokontroli fitopatogennych chorób grzybowych zbóż, w tym bioprotekcji przeciwko *Fusarium* (Son i in., 2015). Potencjalne wirusy namnażające się na grzybach fuzarium zaliczane są do rodziny *Fusariviridae* (Li i in., 2019). Obecnie trwa identyfikacja pożytecznych szczepów wirusa przydatnych w walce z grzybami *Fusarium* i możliwość ich wykorzystania w biologicznej uprawie zbóż. Badacze próbują także ustalić, które z wirusów mogą namnażać się na różnych szczepach grzybów *Fusarium*, a które mają ograniczone zdolności i mogą namnażać się tylko na określonym gatunku *Fusarium* (Zhang i in., 2019).

W związku ze wzrostem świadomości na temat szkodliwości mikotoksyn zaczęto podejmować działania mające na celu eliminację zagrożenia z strony tych substancji. Jedną z głównych metod przeciwdziałania jest ograniczanie możliwości rozwoju grzybów pleśniowych. Dotyczy to ochrony roślin, w tym głównie zbóż przed ich infekowaniem w trakcie wzrostu na polu, ale także prawidłowych warunków przechowywania ziarna i jego przetworów. Podczas magazynowania ziarna jego wysoka wilgotność jest czynnikiem predysponującym do wzrostu grzybnicy. Ważne jest także zapobieganie porażeniu roślin w trakcie okresu wzrostu na polu. Skutkiem porażenia grzybami w trakcie wzrostu roślin jest powstawanie mikotoksyn i ich akumulacja jeszcze przed okresem zbioru (Ashiq, 2015). Do najbardziej patogenicznych wobec zbóż należą gatunki z rodzaju *Fusarium* porażające kłosa zbóż i kolby kukurydzy. Wzrost stopnia skażenia ziarna zbóż mikotoksynami tworzonymi przez gatunki *Fusarium* jest powodowany przez coraz szerzej stosowane

uprawy zbóż w monokulturach, z pominięciem tradycyjnego płodozmianu (Wyzińska, 2017). Stosowanie odpowiedniego zmianowania roślin na stanowisku jest – po wpływie pogody – jednym z ważniejszych czynników ograniczających rozwój grzybów mikotoksynotwórczych (Colbach i Huet, 1995). Pozostałości poźniwne zainfekowanych w poprzednim sezonie roślin stanowią rezerwuar zarodników grzybów pleśniowych typu *Fusarium graminearum* (schemat 1). Płodozmian jest więc jedną z ważniejszych metod, które zaleca się w celu ograniczenia zagrożenia związanego z występowaniem *Fusarium sp.* (Góral i in., 2012). System uprawy także ma wpływ na stopień porażenia roślin i zawartość mikotoksyn. Wykorzystuje się kilka technik podczas uprawy ziemi, jednak najpowszechniej jest stosowana uprawa płużna. Podczas wykonywania orki powierzchniowa warstwa gleby wraz z resztkami poźniwnymi jest odwracana i przyorywana na głębokość od 10 do 30 cm. W ten sposób ogranicza się możliwość rozwoju patogennych grzybów. Praktykowana jest również kultywacja wierzchniej warstwy gleby na głębokość 10 do 20 cm, w trakcie której część resztek poźniwnych zostaje zmieszana z glebą. Coraz częściej stosuje się także uprawę bezpłużną z bezpośrednim siewem nasion w ściernisko. Powoduje to jednak zwiększone zagrożenie występowaniem chorób grzybowych na skutek kumulacji zarodników grzybów na resztkach poźniwnych w wierzchniej warstwie gleby. Zalecane jest więc usuwanie lub wypalanie pozostałości poźniwnych, co może zniwelować prawdopodobieństwo zakażenia materiału roślinnego (ziarniaków) zawieszoną patogennymi *Fusarium*. Z wielu badań wynika, że bezpłużna uprawa ziemi powoduje jednak wzrost poziomu deoksyniwalenolu w pszenicy podczas kolejnych zbiorów (Steinkellner i Langer, 2004; Weber, 2007). Na zawartość mikotoksyn wpływa także zastosowany system uprawy. W porównaniu do konwencjonalnej uprawy ziarno pszenicy pochodzące z uprawy ekologicznej zawiera więcej mikotoksyn (Mazurkiewicz i in., 2008). Jest to jednak uzależnione także od warunków

pogodowych. W latach o wyższej temperaturze i niższych opadach, kiedy istnieją mniej korzystne warunki dla rozwoju grzybów, uprawiane w obu systemach rośliny mogą mieć porównywalną i niską zawartość mikotoksyn (Malmauret i in., 2002). Termin i gęstość siewu są również jednym z czynników determinujących stopień porażenia *Fusarium*. Prawdopodobieństwo zakażenia zwiększa się, gdy czas kłoseń zbóż zsynchronizuje się z terminem uwalniania zarodników grzybów pleśniowych. W związku z tym wprowadzenie zmian w terminie siewu zbóż lub okresie ich dojrzewania może w sposób znaczący wpłynąć na stopień zanieczyszczenia zbóż grzybami pleśniowymi i mikotoksynami. W przypadku kukurydzy, wcześniejsze terminy siewu w poszczególnych obszarach często powodują niższy poziom zanieczyszczenia, ale sezonowe zmiany pogodowe mogą obniżyć tę potencjalną korzyść (Selwet, 2009). Nawożenie jest również jednym z czynników, wpływających na podatność roślin na infekcje grzybowe. Wskazuje się, że nadmiar azotu w glebie powoduje zwiększenie częstotliwości zainfekowania ziaren grzybami pleśniowymi z rodziny *Fusarium*. Jest to jednak uzależnione od zastosowanej formy chemicznej azotu (mocznika, azotanu amonu czy azotanu wapnia) (Yi i in., 2001). Zachwaszczenie upraw jest także uważane za jeden z czynników wpływających na zwiększenie stopnia zawartości mikotoksyn w ziarnach zbóż. Uważa się, że niektóre gatunki chwastów są również rezerwuarem zarodników grzybów pleśniowych z rodziny *Fusarium sp.* Jest to więc wyjaśnienie zależności pomiędzy wyższym stopniem zachwaszczenia upraw a porażeniem grzybami pleśniowymi pszenicy. Także pozostałość zielonej masy chwastów powoduje wzrost zawartości resztek roślinnych zaatakowanych przez grzybnię, co stwarza korzystne warunki do rozmnażania przy udziale propaguli

(wegetatywnej formy rozmnażania – rozmnożka). Poza ochroną fungicydową, jedną z ważniejszych metod jest także hodowla nowych odmian, wykazujących wyższą odporność na porażenie, również poprzez wykorzystanie metod biotechnologicznych. Odmiany kukurydzy genetycznie modyfikowane, które wykazują odporność na żerowanie omacnicy prosowianki, są również mniej podatne na porażenie grzybami, a przez to zawierają mniej mikotoksyn. Potwierdzają to wyniki badań przeprowadzone przez Tekielę i Gabarkiewiczą (2008). W 2-letnim doświadczeniu cytowani autorzy stwierdzili niższą zawartość mikotoksyn w odmianach GMO w stosunku do konwencjonalnych. Selvet (2009), analizując średni stopień zaatakowania kolb przez fuzariozy różnych odmian wykazał zróżnicowany stopień porażenia. Najsilniej skażone były odmiany Junak i Baca. Najniższą koncentrację deoksyniwalenolu stwierdzono w 2006 i 2007 r. w przypadku odmiany GMO – MON 810. Najwyższym stężeniem deoksyniwalenolu charakteryzowała się odmiana Prosna. W przypadku pszenicy udało się uzyskać linie, które dostarczyły odmiany odporne na *Fusarium sp.*, ale niestety obniżeniu uległa jakość pozyskiwanego ziarna oraz właściwości agronomiczne, co spowodowało że linie te nie zostały zarejestrowane. Wśród już istniejących linii hodowlanych wielu gatunków zbóż istnieją jednak bardziej lub mniej wrażliwe na wspomniane patogeny grzybowe. Świadczy to o zróżnicowaniu cech odpowiedzialnych za odporność na infekcje i możliwości prowadzenia dalszych prac selekcyjnych i hodowlanych. Dodatkowo pomocny w tym celu jest fakt, że zostały zidentyfikowane geny odpowiedzialne za cechy dotyczące odporności na zakażenia fuzaryjne w pszenicy (Buerstmayr i in., 2003; Snijders, 2004; Miedaner i in., 2006). Cechy te są często umiejscowione wraz z genami określającymi cechy morfologiczne rośliny.



Schemat 1. Cykl rozwojowy grzybów z rodzaju *Fusarium* (opracowanie własne)
Diagram 1. The development cycle of fungi of the genus *Fusarium*

Charakterystyka mikotoksyn

Każda grupa i gatunek grzybów wytwarza charakterystyczne dla niego rodzaje mikotoksyn. Mają one zróżnicowane działanie toksyczne. Grzyby z rodzaju *Fusarium* produkują głównie zearalenon, fumonizyny, deoksyniwalenol oraz toksyny trichotecenowe (Broda, 2009).

W dostępnej literaturze naukowej wyodrębnienie grupy szkodliwych substancji, jakimi są mikotoksyny, datuje się na rok 1711, w którym po raz pierwszy stwierdzono toksyczny wpływ sporyszu. Kolejną przełomową datą był także rok 1960, kiedy to stwierdzono na jednej z ferm masową śmierć indyków, której przyczyną była

pasza skażona aflatoksyną (Chełkowski, 2021). Następnie, stwierdzono także zatrucia u innych gatunków zwierząt gospodarskich, takich jak: kaczki, trzoda chlewna, bydło, konie. Przyczyną było skarmianie paszy, która w składzie zawierała śrutę z orzeszków ziemnych skażoną aflatoksyną (Dahm i Redlak, 2001). Wtedy to nastąpiło wzmożone zainteresowanie naukowców mikotoksynami. W kolejnych latach opublikowano liczne prace dotyczące tej grupy substancji.

Pomimo że mikotoksyny stanowią liczną grupę substancji, to jednak ta sama mikotoksyna może być wytwarzana przez wiele różnych gatunków grzybów, jak również niekoniecznie

przez wszystkie szczepy danego gatunku. Zdarza się również i tak, że jeden gatunek grzyba produkuje kilka rodzajów mikotoksyn.

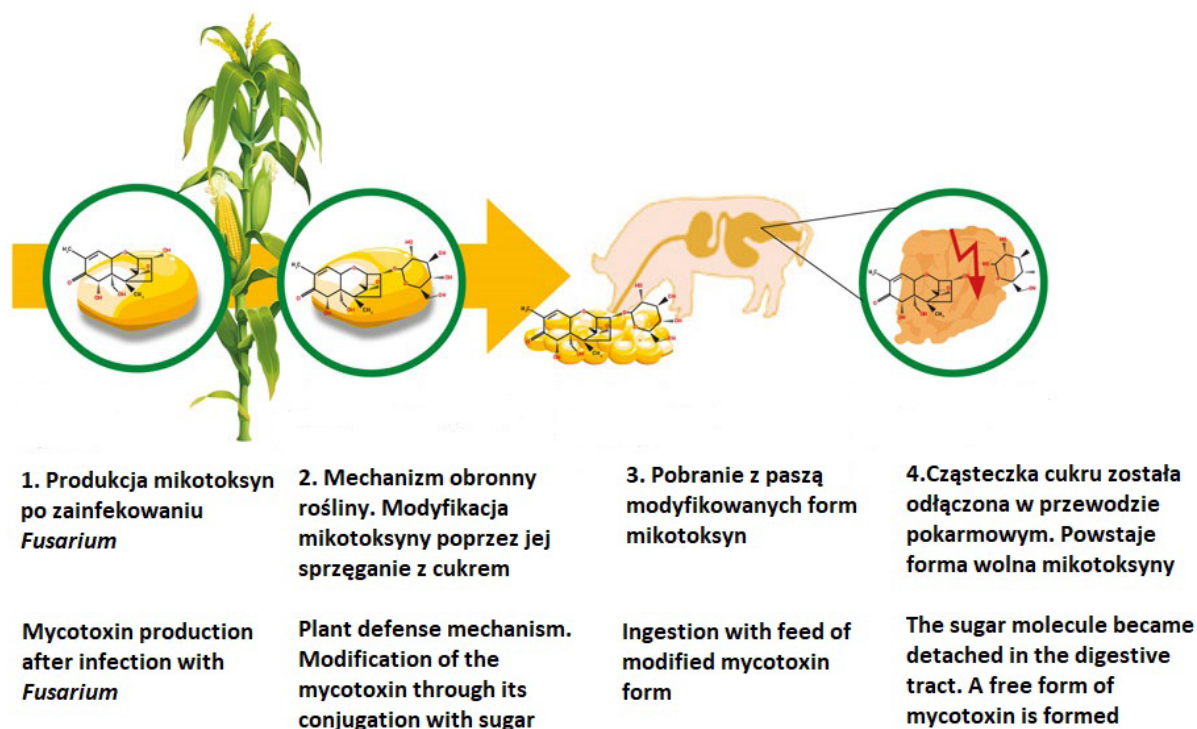
Mikotoksyny łączy fakt, że wszystkie są wytwarzane przez grzyby pleśniowe i wykazują toksyczne działanie wobec organizmów ludzi i zwierząt, jednak pod względem budowy chemicznej są zróżnicowane. Decyduje to o toksyczności i działaniu w organizmie danej mikotoksyny. Toksyny te stwarzają dwa rodzaje zagrożeń – zatrucia ostre oraz ryzyko powstania zatruc przewlekłych. Działanie przewlekłe rozwija się na skutek kumulacji toksyn w organizmie lub w wyniku nagromadzenia niewielkich uszkodzeń morfologicznych lub biochemicznych w obrębie narządów (Jakimiuk i in., 2009). Dlatego też, szeregi badań naukowych poświęconych jest budowie chemicznej i toksykologicznej charakterystyce mikotoksyn. Wiedza taka jest niezbędnym warunkiem, podstawą wszelkiej strategii walki z mikotoksynami, zarówno w odniesieniu do metod zapobiegania rozwojowi pleśni, jak też ochrony produktów przed skażeniem. Jest to istotny problem występujący na całym świecie (Reyneri, 2006).

Poza wolnymi formami mikotoksyn występują tzw. mikotoksyny modyfikowane. Stwarza to problem ostatecznego oszacowania sumarycznej zawartości mikotoksyn, gdyż wykrywane są tylko ich wolne formy, a przez to rutynowe metody badań powodują niedoszacowanie. Mikotoksyny modyfikowane powstają w wyniku biotransformacji form macierzystych, m.in. w roślinach poprzez sprzężanie toksyn ze związkami hydrofilowymi (np. aminokwasami, cukrami) bądź w wyniku metabolizmu bakterii lub grzybów (np. redukcja) (Bryła i in., 2018). W trakcie wzrostu roślin, gdy następuje porażenie przez grzyby *Fusarium*, roślina rozpoznaje mikotoksyny i rozpoczyna proces obronny. W jego trakcie wolne mikotoksyny zostają poddane procesowi glikozylacji. Proces ten polega na połączeniu wolnej cząsteczki mikotoksyny z cząsteczką glukozy za pomocą enzymu glikozylo-transferazy. Innym szlakiem metabolicznym roślin neutralizującym szkodliwość mikotoksyn jest sprzężanie ich z cząsteczką siarki, co skutecz-

nie neutralizuje ich toksyczny wpływ (Barabas i Pikulicka, 2017).

Obecność modyfikowanych mikotoksyn może mieć duże znaczenie toksykologiczne, ponieważ niektóre mogą wykazywać toksyczność wyższą niż formy podstawowe bądź mogą uwalniać się do form macierzystych w przewodzie pokarmowym zwierząt i ludzi (schemat 2). Modyfikowane mikotoksyny mogą powstawać w wyniku działania systemu obronnego roślin, np. DON-3-Glc, zearalenon-14-glukozyd (ZEN-14-Glc), niwalenol-3-glukozyd (NIV-3-Glc), HT-2-glukozyd (HT-2-Glc), metabolizmu bakterii (deepoxy-DON), grzybów (np. 3-acetyl-deoksyniwalenol (3-Ac-DON), 15-acetyl-deoksyniwalenol (15-Ac-DON)); zwierząt (np. powstawanie aflatoksyny M1 z aflatoksyny B1). Formy te powstają, kiedy rośliny chronią się przed wolnymi mikotoksynami, przekształcając je w bardziej polarne metabolity, mniej dla nich toksyczne. Proces ten zachodzi jeszcze w trakcie wzrostu roślin na polu, kiedy to dochodzi do porażenia grzybami z rodzaju *Fusarium*. Mikotoksyny takie jak DON, ZEN, FB1, FB2, T2, HT-2 i niwalenol (NIV) są najczęściej metabolizowane przez rośliny. Spośród wszystkich dotychczas oznaczonych modyfikowanych form mikotoksyn najwięcej danych istnieje na temat występowania DON-3-Glc. Stosunek DON-3-Glc do formy niezmodyfikowanej waha się od 20 do 70% (Panasiuk i in., 2018).

W procesach detoksykacji występujących w organizmie zachodzą zmiany form chemicznych mikotoksyn w inną formę chemiczną o słabszych właściwościach toksycznych (Łozowicka, 2009). Przykładem jest odkrycie, że krowy mleczne karmione paszą zawierającą aflatoksynę B1 wydalają z mlekiem jej pochodną – aflatoksynę M1. Dotychczas uważano, że mleko i jego przetwory z produkcji ekologicznej mogą zawierać aflatoksynę. Pogląd ten był związany z przekonaniem, że ograniczenie stosowania fungicydów powoduje wzrost zawartości mikotoksyn w ziarnie przeznaczonym na paszę. Niektóre badania przeczą jednak tej tezie, a nawet wykazują, że w ekologicznym mleku poziomy mikotoksyn są niższe (Woese i in., 1997).



Schemat 2. Proces przemian mikotoksyn modyfikowanych (opracowanie własne)
Diagram 2. Process of modified mycotoxins transformation

Narażenie zwierząt hodowlanych na działanie zearelenonu prowadzi do zaburzeń układu moczowo-płciowego, natomiast ostre lub przewlekłe zatrucia mogą powodować trwałe uszkodzenie narządów układu rozrodczego, takie jak zmiany zwyrodnieniowe jąder, atrofia jajników, bezpłodność i poronienia. Zanieczyszczenie żywności pochodzenia zwierzęcego (głównie mleka i mięsa) mikotoksynami pochodzącymi od *Fusarium* jest obecnie niskie ze względu na stały monitoring tych produktów pod względem ich bezpieczeństwa, począwszy od skarmianych surowców paszowych po badanie produktów spożywczych (Samardžija i in., 2017).

Mikotoksyny stanowią zagrożenie dla zdrowia wszystkich zwierząt. Największa wrażliwość na skażenie mikotoksynami paszy występuje u drobiu oraz trzody chlewnej (Ghareeb i in., 2015). Obie te grupy zwierząt otrzymują także

pasze pełnoporcjowe o wysokim udziale ziarna zbóż, co również ma istotne znaczenie w narażeniu ich na spożycie dużej ilości mikotoksyn. Wyniki badań naukowych wskazują jednak na pewne różnice gatunkowe we wrażliwości na toksyczne działanie różnych mikotoksyn. Drób wykazuje mniejszą wrażliwość na zawartość fumonizyn w paszy niż trzoda chlewna i konie. Jest to związane z różnicą w stopniu absorpcji tej mikotoksyny w przewodzie pokarmowym (Guerre, 2015). Zauważono ponadto, że wśród drobiu również występuje zróżnicowana wrażliwość na zawartość fumonizyny. Indyki oraz kaczki są znacznie bardziej podatne na zatrucie niż kury (Tran i in., 2005).

U koni żywionych paszą, która zawierała w swoim składzie kukurydzę skażoną aflatoksyną nastąpiła śmierć, a po przeprowadzonej sekcji stwierdzono rozległą martwicę wątroby.

Wykonana analiza chemiczna kukurydzy wykazała zawartość aflatoksyn B1, B2 i M1 w stężeniach odpowiednio 114, 10 i 6 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (Vesonder i in., 1991). Natomiast, jak sugerują badania Schulz i in. (2015), konie są mniej wrażliwe niż inne gatunki zwierząt na zawartość niższą niż 1 mg/kg deoksyniwalenolu. Zwierzęta przeżuujące (bydło, kozy i owce), których żywienie jest oparte na paszach objętościowych, głównie sianie i zielonce, są w mniejszym stopniu narażone na spożycie większych ilości mikotoksyn pochodzących ze skażonego ziarna zbóż. Dodatkowo, są one w pewnym stopniu chronione poprzez częściową zdolność mikroflory żwacza do detoksykacji mikotoksyn (Ogórek, 2014).

W związku z problematyką toksyczności mikotoksyn dla ludzi i zwierząt istnieje konieczność stosowania mechanizmów prewencyjnych. Całkowita eliminacja zagrożenia związanego z występowaniem tych substancji jest nieunikniona, dlatego najskuteczniejszą metodą, poza agrotechnicznymi, jest stała kontrola poziomu skażenia zbóż. Mnogość czynników wpływających na zawartość mikotoksyn powoduje, że konieczne jest przebadanie każdej partii ziarna w celu określenia ich stężenia względem dopuszczonych norm (tab. 1).

Wykrycie partii przekraczających limity

umożliwia szybkie wycofanie zbóż i przetworów zbożowych z obrotu handlowego. Znaczący problem stanowi także duże zróżnicowanie mikotoksyn i ich toksycznego wpływu oraz możliwe synergiczne współdziałanie ich poprzez potęgowanie efektu szkodliwości. Synergiczne współdziałanie dwóch lub więcej mikotoksyn może sprawiać, że sumaryczna ich zawartość w zbożach, produktach ich przerobu oraz paszach może powodować jeszcze większą szkodliwość dla ludzi i zwierząt (Cegielska-Radziejewska i in., 2009).

Jednym z rozwiązań, które ogranicza wchłanianie mikotoksyn do ustroju jest zastosowanie probiotyków, które poprzez ich adsorbację zmniejszają biodostępność w świetle jelita, uniemożliwiając ich wchłonięcie do krwiobiegu oraz chronią narządy i tkanki. Związany kompleks probiotyk-mikroorganizm jest wydalany, jednak efektywne działanie tego mechanizmu wymaga stałego dostarczania probiotyku z paszą (Bzducha-Wróbel i in., 2015). W doświadczeniu przeprowadzonym na krowach mlecznych stwierdzono, że dodatek drożdży *S. cerevisiae* do paszy skażonej aflatoksyną B1 spowodował zmniejszenie wydalania wraz z mlekiem jej metabolitu aflatoksyny M1 (Gonçalves i in., 2017). Metodą ochrony zwierząt przed negatywnymi skutkami

Tabela 1. Dopuszczalne poziomy zawartości mikotoksyn według Rozporządzenia Komisji (UE) NR 165/2010
Table 1. Permissible levels of mycotoxins according to Commission Regulation (EU) No. 165/2010

Mikotoksyna <i>Mycotoxin</i>		Najwyższy dopuszczalny poziom ($\mu \cdot \text{kg}^{-1}$) <i>The highest permissible level ($\mu \cdot \text{kg}^{-1}$)</i>
Aflatoksyny <i>Aflatoxins</i>	B1	2,0
	Suma B1, B2, G1 i G2 <i>Total B1, B2, G1 and G2</i>	4,0
Ochratoksyna <i>Ochratoxin</i>		5,0
Deoksyniwalenol <i>Deoxynivalenol</i>		1250
Zearalenon <i>Zearalenone</i>		100

stosowania pasz zawierających mikotoksyny jest stosowanie detoksykantów. Są to preparaty oparte na glinokrzemianach lub węgla aktywnym, które wiążą mikotoksyny w trwałe kompleksy. Związywanie mikotoksyn uniemożliwia ich wchłonięcie w jelitach do ustroju i ostatecznie są one wydalane z kałem. Jednak, przy znacznym skażeniu paszy mikotoksynami stosowanie detoksykantów okazuje się nieskuteczne (Jarczyk i in., 2015).

Podsumowanie

Zawartość mikotoksyn w ziarnie jest ważnym wskaźnikiem jego jakości. Osiągnięcie jak najniższego ich stężenia pozwoli na ochronę zdrowia ludzi i zwierząt. Podejmowane w tym kierunku działania obejmują hodowlę odmian zbóż odpornych na fuzariozę kłosów, stosowanie odpowiedniej ochrony fungicydowej oraz dobrej praktyki rolniczej. Ważnym elementem jest także stan pogody, zwłaszcza w trakcie kłoszenia, który

jest nieprzewidywalny i niemożliwy do modyfikacji. W związku z tym, że wiele czynników wpływa na zawartość mikotoksyn w ziarnie, tak jak dotychczas konieczny jest stały monitoring laboratoryjny partii ziarna przeznaczanych na cele paszowe. W związku z wykryciem nowych form mikotoksyn, tzw. modyfikowanych, istotnym kierunkiem prac jest rozwój metod analitycznych umożliwiających ich wykrywanie. Ważną metodą ochrony zdrowia zwierząt przed negatywnym wpływem mikotoksyn jest stosowanie dodatków paszowych. Należą do nich preparaty probiotyczne oraz detoksykanty.

W związku z tym, że mikotoksyny stanowią stałe zagrożenie, konieczne jest podejmowanie dalszych badań naukowych ukierunkowanych na poszukiwanie efektywnych środków wiążących mikotoksyny, takich jak sorbenty i detoksykanty, prowadzonych zarówno w doświadczeniach *in vitro*, jak i *in vivo*.

Literatura

- Ashiq S. (2015). Natural occurrence of mycotoxins in food and feed: Pakistan perspective. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14 (2): 159–175.
- Bailey K., Lazarovits G. (2003). Suppressing soil-borne diseases with residue management and organic amendments. *Soil and Tillage Research*, 72: 169–180.
- Barabasz W., Pikulicka A. (2017). Mykotoksyny – zagrożenie dla zdrowia ludzi i zwierząt. Część 2. Mykotoksyny zamaskowane – powstawanie, występowanie w żywności i paszach, metody identyfikacji i eliminacji mykotoksyn, prawodawstwo dotyczące mykotoksyn. (http://jhsn.spoleczna.pl/issues/JHSM_7_5.pdf).
- Baturo A., Łukanowski A., Kuś J. (2004). Comparison of health status of winter wheat and spring barley grain cultivated in organic, integrated and conventional systems and monoculture. *Proceedings of the First World Conference on Organic Seed: Challenges and Opportunities for Organic Agriculture and the Seed Industry*, 5–7 July, FAO Headquarters, Rome, Italy; pp. 128–132.
- Bottalico A., Perrone G. (2002). Toxigenic *Fusarium* species and mycotoxins associated with head blight in small-grain cereals in Europe. *European Journal of Plant Pathology*, 108: 611–624.
- Broda M. (2009). Microflora of the cereal grains and methods reducing microbial contamination. *Postępy Nauk Rolniczych*, 2 (61): 19–30.
- Bryła M., Waśkiewicz A., Ksieniewicz-Woźniak E., Szymczyk K., Jędrzejczak R. (2018). Modified *Fusarium* mycotoxins in cereals and their products – metabolism, occurrence, and toxicity: an updated review. *Molecules*, 23: 963–669.
- Buerstmayr H., Steiner B., Hartl L., Griesser M., Angerer N., Lengauer D., Miedaner T., Schneider B., Lemmens M. (2003). Molecular mapping of QTLs for *Fusarium* head blight resistance in spring wheat. II. Resistance

- to fungal penetration and spread. *Theoretical and Applied Genetics*, 107: 503–508.
- Bzducha-Wróbel A., Gniewosz M., Chlebowska-Śmigiel A. (2015). Wiązanie mykotoksyn przez bakterie z rodzaju *Lactobacillus* i *Bifidobacterium in vitro* oraz *in vivo*. *Med. Weter.*, 71 (12): 748–757.
- Cegielska-Radziejewska R., Szablewski T., Karolczak K., Kaczmarek A., Kijowski J. (2009). An immunoenzymatic method for the determination of mycotoxins contents in cereals and feeds. *Nauka. Przyroda. Technologie*, 3 (4): 1–9.
- Champeil A., Doré T., Fourbet J.F. (2004). *Fusarium* head blight: epidemiological origin of the effects of cultural practices on head blight attacks and the production of mycotoxins by *Fusarium* in wheat grains. *Plant Science*, 166: 1389–1415.
- Chełkowski J. (2021). Mikotoksyny, grzyby toksynotwórcze i mikotoksykozy. Online: www.cropnet.pl/mycotoxin, dostęp 13.01.2021.
- Colbach N., Huet P. (1995). Modelling the frequency and severity of root and foot diseases in winter wheat monocultures. *European Journal of Agronomy*, 4 (2): 217–227.
- Czaban J., Wróblewska B., Sułek A., Podolska G. (2011). The influence of different production technologies of winter wheat on colonization of its grain by fungi of the genus *Fusarium*. *Polish Journal of Agronomy*, 5: 11–20.
- Dahm H., Redlak K. (2001). Mikotoksyny. W: *Drobnoustroje środowiska glebowego, aspekty fizjologiczne, biochemiczne, genetyczne*. Wyd. Adam Marszałek, Toruń; ss. 25–36.
- Doohan F.M., Brennan J., Cooke B.M. (2003). Influence of climatic factors on *Fusarium* species pathogenic to cereals. *European Journal of Plant Pathology*, 109: 755–768.
- Ghareeb K., Awad W.A., Boehm J., Zebeli Q. (2015). Impacts of the feed contaminant deoxynivalenol on the intestine of monogastric animals: Poultry and swine. *Journal of Applied Toxicology*, 35 (4): 327–337.
- Golka W., Arseniuk E., Golka A., Góral T. (2020). Artificial neural networks and remote sensing in the assessment of spring wheat infection by *Fusarium* head blight. *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin*, (288): 67–75.
- Gonçalves B.L., Gonçalves J.L., Rosim R.E., Cappato L.P., Cruz A.G., Oliveira C.A.F., Corassin C.H. (2017). Effects of different sources of *Saccharomyces cerevisiae* biomass on milk production, composition, and aflatoxin M1 excretion in milk from dairy cows fed aflatoxin B1. *J. Dairy Sci.*, 100: 5701–5708.
- Góral T., Ochodzki P., Walentyn-Góral D., Nielsen L.K., Justesen A.F., Jørgensen L.N. (2012). Influence of fore-crop and weather conditions on infestation of spring wheat ears by fungi of the genus *Fusarium* and the content of mycotoxins in grain. *Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin. Biuletyn*, 265: 11–21.
- Guerre P. (2015). Fusariotoxins in avian species: Toxicokinetics, metabolism and persistence in tissues. *Toxins*, 7: 2289–2305.
- Jakimiuk E., Gajęcka M., Jana B., Brzuzan P., Zielonka Ł., Skorska-Wyszyńska E., Gajęcki M. (2009). Factors determining sensitivity of prepubertal gilts on hormonal influence of zearalenone. *Polish Journal of Veterinary Sciences*, 12 (1): 149–158.
- Jarczyk A., Jędryczko R., Bancewicz E., Kaczyński M. (2015). Mikotoksyny i grzyby w ziarnie zbóż i paszach dla trzody chlewnej w Polsce. *Prz. Hod.*, 2: 27–31.
- Kurowski T.P., Wysocka U. (2009). Fungi colonizing grain of winter spelt grown under two production systems. *Phytopathologia*, 54: 45–52.
- Li P., Bhattacharjee P., Wang S., Zhang L., Ahmed I., Guo L. (2019). Mycoviruses in *Fusarium* species: an updating review. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 9: p. 257.
- Łozowicka B. (2009). Chemical contaminants in plant food. *Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin*, 49 (4): 2071–2080.
- Łukanowski A., Sadowski C. (2008). Settlement of spring wheat kernels by *Fusarium spp.* in organic systems as compared with other cropping systems, 3rd International FHB Symposium, Szeged, Hungary, pp. 581–583.

- Malmauret L., Parent-Massin D., Hardy J.L., Verger P. (2002). Contaminants in organic and conventional food-stuffs in France. *Food Additives and Contaminants*, 19: 524–532.
- Mazurkiewicz J., Solarz E., Kuzdrałiński A., Muszyńska M. (2008). The occurrence of *Fusarium* toxins in winter wheat depending on fertilization. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 53 (4): 15–17.
- Miedaner T., Wilde F., Steiner B., Buerstmayr H., Korzun V., Ebmeyer E. (2006). Stacking quantitative trait loci (QTL) for *Fusarium* head blight resistance from non adapted sources in an European elite spring wheat background and assessing their effects on deoxynivalenol (DON) content and disease severity. *Theoretical and Applied Genetics*, 112: 562–569.
- Nieróbca A., Pudełko R., Kozyra J. (2009). The use of remote sensing methods to analyse weed infestation in an experimental field. *Progress in Plant Protection*, 49: 1622–1629.
- Ogórek R. (2014). Znaczenie mikotoksyn w produkcji rolniczej. *TASOMIX nasze pasze*. (<http://tasomix.pl/znaczeniemikotoksyn-produkcji-rolniczej>), dostęp 29.10.2020.
- Panasiuk Ł., Piątkowska M., Pietruszka K., Jedziniak P., Posyniak A. (2018). Modified mycotoxins – a hidden threats beyond official control. *Życie Weterynaryjne*, 93 (8): 543–547.
- Reyneri A. (2006). The role of climatic conditions on mycotoxin production in cereal. *Veterinary Research Communications*, 30 (1): 87–92.
- Rozporządzenie Komisji (UE) NR 165/2010 z dnia 26 lutego 2010 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006 ustalające najwyższe dopuszczalne poziomy niektórych zanieczyszczeń w środkach spożywczych w odniesieniu do aflatoksyn (Dz.Urz. WE L 50/8).
- Samardžija M., Jeličić A., Mitak M., Pleadin J. (2017). Oestrogen effects of zearalenon in farm animals and risks for human and animal health. *Veterinarska Stanica*, 48 (2): 109–118.
- Schulz A.K., Kersten S., Dänicke S., Coenen M., Vervuert I. (2015). Effects of deoxynivalenol in naturally contaminated wheat on feed intake and health status of horses. *Mycotoxin Res.*, 31: 209–216.
- Selwet M. (2009). Pathogenic fungi and grain contamination by deoxynivalenol in the cultivation of genetically modified maize and traditional varieties. *Ekologia i Technika*, 17 (6): 276–280.
- Smagacz J., Martyniuk S. (2001). Infection of the stem base and roots of winter wheat grown after various fore-crops by pathogens, with particular emphasis on *Gaeumannomyces graminis*. *Postępy w Ochronie Roślin*, 41 (2): 745–746.
- Snijders C.H.A. (2004). Resistance in wheat to *Fusarium* infection and trichothecene formation. *Toxicology Letters*, 153: 37–46.
- Son M., Yu J., Kim K.H. (2015). Five questions about mycoviruses. *PLoS Pathog.*; 11:e1005172. doi: 10.1371/journal.ppat.1005172.
- Stanisławczyk R., Rudy M., Świątek B. (2010). The occurrence of mycotoxins in cereals and cereal products present in retail outlets in the province of Podkarpacie. *Nauka. Technologia. Jakość*, 6 (73): 58–66.
- Starzyk J., Wiśniewska H. (2015). Resistance of spring wheat to *Fusarium* head blight after the application of effective microorganisms. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 15, 1 (49): 101–111.
- Steinkellner S., Langer I. (2004). Impact of tillage on the incidence of *Fusarium spp.* in soil. *Plant Soil*, 267: 13–22.
- Szwejkowski Z., Kurowski T.P. (2009). The investigations on impact of weather conditions on the fungi diseases infestation in environment on the example of winter wheat. *Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 26 (1): 102–108.
- Tekiela A., Gabarkiewicz R. (2008). Reduction of mycotoxin threats to mammals and birds through the cultivation of Bt maize cultivars in Poland. *IOBC WPRS Bulletin*, 33: 111–116.
- Tran S.T., Auvergne A., Bernard G., Bailly J.D., Tardieu D., Babile R., Guerre P. (2005). Chronic effects of fumonisin B1 on ducks. *Poultry Sci.*, 84: 22–28.
- Vesonder R., Haliburton J., Stubblefield R., Gilmore W., Peterson S. (1991). *Aspergillus flavus* and aflatoxins B1,

- B2, and M1 in corn associated with equine death. Arch. Environ. Contam. Toxicol., 20: 151–153.
- Wachowska U., Kucharska K., Pluskota W., Czaplicki S., Stuper-Szablewska K. (2020). Bacteria associated with winter wheat degrade *Fusarium* mycotoxins and triazole fungicide residues. Agronomy, 10; doi: org/10.3390/agronomy10111673.
- Weber R. (2007). Treat and the ways of reducing fusariosis in wheat. Postępy Nauk Rolniczych, 59 (2): 19–31.
- Woese K., Lange D., Boess C., Bögl K.W. (1997). A comparison of organically and conventionally grown foods – results of a review of the relevant literature. J. Sci. Food Agric., 74: 281–293.
- Woźniak A. (2001). Studies on yielding, weed infestation and healthiness of spring triticale, spring wheat and spring barley in crop rotation and short-term monoculture on rendzinic soil of the middle-eastern Lublin region. Rozprawy Naukowe Akademii Rolniczej, Lublin.
- Woźniak A. (2002). Effect of forecrops on yielding, weed infestation and healthiness of spring triticale. Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, 221: 35–43.
- Wyzińska M. (2017). Cereal fungal diseases – causes and effects. Agricultural and natural sciences – selected issues. Wyd. Tygiel, pp. 209–220.
- Xu X.M., Parry D.W., Nicholson P., Thomsett A.A., Simpson D., Edwards S.G., Cooke B.M., Doohan F.M., Brennan J.M., Moretti A., Tocco G., Mule G., Hornok L., Giczey G., Tatnell J. (2005). Predominance and association of pathogenic fungi causing *Fusarium* ear blight in wheat in four European countries. European Journal of Plant Pathology, 112: 143–154.
- Yi C., Kaul H.P., Kübler E., Schwadorf K., Aufhammer W. (2001). Head blight (*Fusarium graminearum*) and deoxynivalenol concentration in winter wheat as affected by pre-crop soil tillage and nitrogen fertilisation, Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, 108: 217–230.
- Zhang X., Xie Y., Zhang F., Sun H., Zhai Y., Zhang S. (2019). Complete genome sequence of an alternavirus from the phytopathogenic fungus *Fusarium incarnatum*. Arch. Virol., 164, 923–925; doi: 10.1007/s00705-018-04128-2.

THE PROBLEMS OF *FUSARIUM* INFECTION IN CEREAL CROPS AND THE RELATED PRESENCE OF MYCOTOXINS IN THE GRAIN AND THEIR HARMFULNESS AS PESTS FOR ANIMALS

Summary

The mycotoxin content is an important indicator of grain quality. Keeping their content as low as possible is the goal that will help protect human and animal health. Due to the fact that many factors influence the mycotoxin content in grain, constant laboratory monitoring of grain batches intended for fodder is necessary. The research conducted so far shows that the climate also has a significant impact, hence both domestic and imported grains should be tested, and if the standards are exceeded, they should be disposed of. The paper presents agrotechnical methods preventing the contamination of cereals by *Fusarium* as one of the methods of preventing the presence of mycotoxins in the grains. The most important mycotoxins and their modified forms were also characterized, as was the threat to animal health resulting from the presence of mycotoxins.

Key words: mycotoxins, *Fusarium*, grain contamination, forage