

Małgorzata Miśniakiewicz

Katedra Towaroznawstwa Żywności

Biologiczne zanieczyszczenia żywności. Mikotoksyny

1. Wprowadzenie

Postępująca chemizacja środowiska naturalnego i intensyfikacja produkcji żywności są głównymi przyczynami skażenia produktów żywnościowych i surowców do ich wytwarzania. Istotny wpływ na poziom zanieczyszczeń w surowcu, półprodukcie i produkcie końcowym mają także warunki zbioru i przechowywania płodów rolnych oraz nieprawidłowości powstające niekiedy w trakcie procesów technologicznych, którym produkt jest poddawany.

Zanieczyszczenia biologiczne żywności to żywe organizmy, a także ich metabolity, czyli substancje przedostające się do środowiska w wyniku czynności fizjologicznych tych organizmów. Należą do nich drobnoustroje, pasożyty, szkodniki magazynowe oraz produkty ich aktywności, np. enzymy, odchody, obumarłe cząstki. Jeśli chodzi o zboża i ich przetwory, zanieczyszczenia biologiczne to przede wszystkim grzyby i pleśnie oraz produkty ich przemiany materii, czyli mikotoksyny.

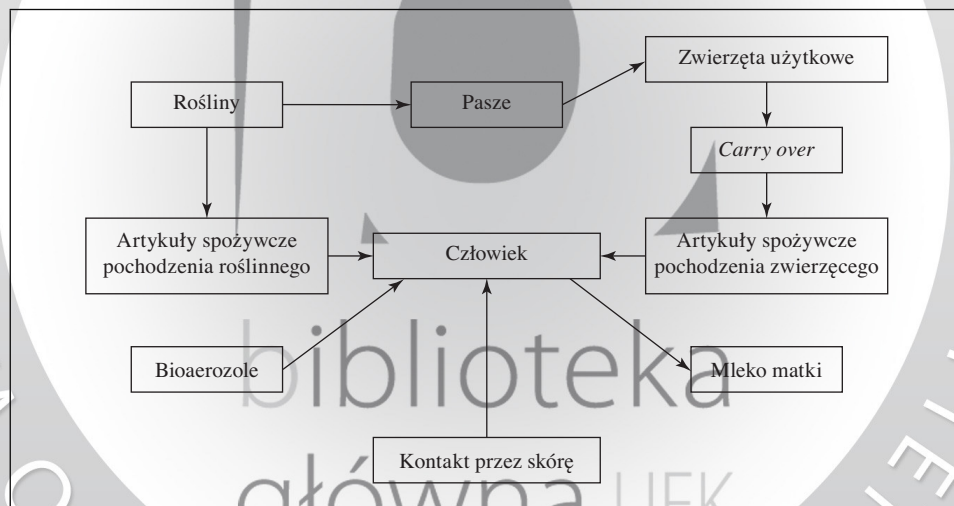
Obecność zanieczyszczeń biologicznych, podobnie jak chemicznych czy fizycznych, w płodach rolnych i żywności wpływa bezpośrednio na ich jakość przede wszystkim pod względem higieniczno-zdrowotnym.

2. Mikotoksyny – ogólna charakterystyka

Mikotoksyny to wtórne metabolity grzybów strzępkowych, zwanych potocznie pleśniami, należących przede wszystkim do rodzajów *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* i *Stachybotrys*. Mogą one powstawać w wielu produktach rolnych i w bardzo różnych warunkach klimatycznych. Ich obecność w żywności i paszach

niesie ze sobą potencjalne zagrożenie dla organizmów żywych i dlatego produkty szczególnie narażone na ich rozwój muszą być regularnie poddawane badaniom monitoringowym w celu zapewnienia bezpieczeństwa zdrowotnego konsumentów [5, 13].

Obecnie znanych jest ponad 300 różnego rodzaju mikotoksyn (niektóre z nich zaliczane są do najsilniej działających trucizn dotychczas poznanych przez człowieka); prowadzone prace badawcze obejmują grupę ok. 20 najbardziej rozpowszechnionych. Podstawowym ich źródłem są produkty spożywcze pochodzenia roślinnego, przede wszystkim zboża oraz zanieczyszczone mikotoksynami powietrze, np. podczas przerabiania i magazynowania zboża, produkcji żywności, żywienia zwierząt zanieczyszczonej paszą, przy kompostowaniu oraz w muzeach, bibliotekach, archiwach, biurach (klimatyzacja). Obecność mikotoksyn w powietrzu może też być skutkiem zawilgocenia i zapleśnienia ścian i sprzętów w różnego rodzaju budynkach, w tym mieszkalnych [4, 5].



Rys. 1. Drogi skażenia mikotoksynami

Źródło: [4].

Obecnie za najważniejsze z rolniczego punktu widzenia uznaje się 6 grup chemicznych mikotoksyn; są to: aflatoksyny, ochratoksyna A, patulina, fumoniyny, deoksyniwalenol (trichoteceny) i zearalenon (tabela 1).

Mikotoksyny wywołują patologiczne zmiany u ludzi i zwierząt, mogą być przyczyną ostrych zatruc o zróżnicowanym przebiegu, obecnie rzadko spotykanych, oraz zatruc przewlekłych, które powstają w wyniku działania nawet bardzo małych dawek mikotoksyn przyjmowanych z pożywieniem przez dłuższy czas.

Mają właściwości mutagenne, kancerogenne, estrogenne i teratogenne, a przy tym charakteryzują się wysoką odpornością na podwyższoną temperaturę. Niekiedy nawet niewielkie ilości silnie toksycznej mikotoksyny powodują groźne w przebiegu zmiany w zakresie metabolizmu białek, tłuszczów lub węglowodanów. Do najbardziej niebezpiecznych należą zaburzenia syntezy kwasów nukleinowych, co bezpośrednio prowadzi do zmian mutagennych i kancerogennych w obrębie tkanek i narządów. Do najczęściej opisywanych przypadków ostrej intoksykacji wywołanej mikotoksynami zalicza się uszkodzenia wątroby i nerek, które w ekstremalnych warunkach prowadzą do rozwoju choroby nowotworowej i stają się przyczyną zgonu. Znaczna grupa mikotoksyn wywołuje zaburzenia w funkcjonowaniu tkanki nerwowej manifestujące się stałym uszkodzeniem centralnego układu nerwowego. Mikotoksyny są z reguły niskocząsteczkowymi substancjami, w stosunku do których organizm nie może wytworzyć żadnych przeciwciał (tabela 2).

Tabela 1. Główne grupy mikotoksyn

Mikotoksyny	Produkujące je grzyby
Aflatoksyny B ₁ , B ₂ , G ₁ , G ₂ i M ₁	<i>Aspergillus flavus</i> , <i>A. parasiticus</i> , <i>A. nomius</i>
Ochratoksyna A	<i>Penicillium verrucosum</i> , <i>Aspergillus alutaceus</i>
Patulina	<i>Penicillium expansum</i> , <i>Aspergillus clavatus</i> , <i>Byssochlamys nivea</i>
Fumonizyny	<i>Fusarium moniliforme</i> , <i>F. proliferatum</i>
Deoksywalenon (trichoteceny)	<i>Fusarium graminearum</i> , <i>F. culmorum</i> , <i>F. crookwellense</i> , <i>F. sporotrichoides</i> , <i>F. poae</i> , <i>F. acuminatum</i>
Zearalenon	<i>Fusarium graminearum</i> , <i>F. culmorum</i> , <i>F. crookwellense</i>

Źródło: [8, 10, 11, 12].

Mikotoksyny mają jednocześnie duży wpływ na gospodarkę; powodują straty w pogłowie zwierząt, trudności w prowadzeniu hodowli oraz obniżenie jakości plonów [2]. Zanieczyszczenie mikotoksynami produktów rolnych w bardzo dużym stopniu zależy od warunków środowiska, które umożliwiają wzrost pleśni i powstawanie mikotoksyn. Żywność i pasze mogą ulec zanieczyszczeniu w każdym momencie, począwszy od rozwoju rośliny na polu, przez zbiór, aż do obróbki, przechowywania i transportu gotowego artykułu. Na każdym z tych etapów skład flory grzybowej jest różny, w związku z tym w wyniku zaniedbań podczas produkcji, obróbki i magazynowania produkt może zostać zanieczyszczony różnymi mikotoksynami, przy czym aby powstały mikotoksyny, musi dojść do zakażenia żywności pleśniami.

Tabela 2. Toksyczne oddziaływanie wybranych mikotoksyn

Oddziaływanie na układy	
Rakotwórczość	aflatoksyny, ochratoksyna A, fuminizyny
Mutagenność	aflatoksyny i sterigmatocystyna
Embriotoksyczność i teratogenność	ochratoksyna A
Oslabienie układu odpornościowego	aflatoksyny i ochratoksyna A
Oddziaływanie na organy i tkanki	
Właściwości estrogenne	zearalenon
Działanie krwotoczne	trichoteceny
Nefrotoksyczność	ochratoksyna A, cytrynina
Hepatotoksyczność	aflatoksyny, sterigmatocystyna, rubratoksyna B, kwas penicylinowy
Dermatotoksyczność	trichoteceny
Cytotoksyczność	trichoteceny
Neurotoksyczność	penitrem, ergotoksyny, fumitremorgeny, verrukulogen, fumonizyny, lolitrem, aflatrem

Źródło: [4].

Tabela 3. Symptomy głównych mikotoksykoz u zwierząt hodowlanych

Mikotoksykoza	Symptom kliniczny	Zmiany patologiczno-anatomiczne
Aflatoksykoza	spadek wydajności, charłactwo, żółtaczką, nagła śmierć	krwawienia, obrzęk ściany pęcherzyka żółciowego, zwłóknienie wątroby, marskość wątroby, rozrost przewodu żółciowego, powstawanie nowotworu
Ochratoksykoza lub mikotoksyczna nefropatia	nadmierne pragnienie, wielomocz, spadek wzrostu	obrzęk nerek, zwyrodnienie bliższych odcinków cewkowych, tworzenie się torebki, zwłóknienie nerek, jaśniejsza wątroba
Trichotecenotoksykoza	odmawianie paszy, wymioty, częstoskurcz, biegunka, zaburzenia nerwowe, krwawienia, obrzęki, zgorzele skóry, leukopenia, niska liczba płytek krwi	krwawienie z nabłonka błony śluzowej żołądka i jelita cienkiego, krwawienia opon mózgowych i uszkodzenia systemu nerwowego
Syndrom zearalenonu	obrzemiecie sromu (zwłaszcza u młodych loszek), powiększenie gruczołów mlecznych, wypadanie pochwy i odbytnicy, zakłócenie płodności, naruszenie procesu wytwarzania nasienia	powiększenie macicy, zmiany w jajnikach, zwyrodnienia cystowe (zanik pęcherzyków jajowych), zanik jądra

Źródło: [5].

Wiele toksyn jest niewrażliwych na obróbkę cieplną, są stabilne w przeciętnych warunkach stosowanych podczas gotowania i przygotowywania żywności, dlatego mogą pozostawać w produkcie długo po zniknięciu pleśni [15]. W związku z tym istnieje konieczność sprawdzania metodami analizy chemicznej skuteczności granic bezpieczeństwa – w inny sposób nie można dać gwarancji, że w produktach żywnościowych mikotoksyny są nieobecne [9].

Zmiany chorobowe występujące u zwierząt (przede wszystkim trzody chlewnej i drobiu) po spożyciu paszy skażonej produktami przemiany materii grzybów pleśniowych noszą nazwę mikotoksykoz (tabela 3).

3. Podstawowe mikotoksyny w produktach spożywczych – charakterystyka i występowanie

3.1. Aflatoksyny

Aflatoksyny, przede wszystkim aflatoksyny B₁, B₂, G₁ i G₂ występujące w żywności pochodzenia roślinnego, są produkowane przez niektóre szczepy *Aspergillus flavus*, większość szczepów *A. parasiticus* oraz spokrewnione gatunki *A. nomius* [12]. Podzielono je na dwie grupy: B i G, na podstawie koloru (niebieski, zielony), na jaki fluoryzują w świetle ultrafioletowym po adsorpcji na substracie w fazie stałej. W produktach roślinnych najczęściej i w największych ilościach znajdują się metabolity B₁ i G₁ [12]. Aflatoksyny, zwłaszcza aflatoksyna B₁, są genotoksycznymi substancjami rakotwórczymi odpowiedzialnymi m.in. za powstawanie raka wątroby [6].

Najbardziej podatne na zanieczyszczenie aflatoksynami są orzeszki ziemne (arachidowe), kukurydza, nasiona bawełny, orzechy brazylijskie, pistacje – mogą się one pojawić już podczas wegetacji roślin na polu [12]. Występują również, choć rzadziej w zbożach, ryżu, kukurydzy, ziarnie kakaowym, orzechach włoskich, ziarnach słonecznika, marcepanach oraz w przyprawach kuchennych, takich jak: pieprz, chilli czy papryka, oraz w suszonych owocach, np. figach, rodzynekach [2, 12]. Najwyższe stężenia aflatoksyn są związane z pleśnieniem artykułów rolnych (wzrost *Aspergillus*) po zbiorze, podczas przechowywania w złych warunkach. W takich produktach można wykryć aflatoksyny w stężeniach rzędu mg/kg i chociaż problemów tego rodzaju można w zasadzie uniknąć, zapewniając szybkie suszenie i odpowiednie warunki przechowywania nieprzetworzonych surowców, to w praktyce tego rodzaju zanieczyszczenia są nadal niezwykle powszechne w krajach ciepłego, wilgotnego klimatu tropikalnego i subtropikalnego, przede wszystkim w Afryce oraz Chinach, Indiach, Brazylii i niektórych stanach USA. W warunkach klimatu umiarkowanego chłodnego, m.in. w Polsce, skażenie rodzimych artykułów rolnych aflatoksynami jest sporadyczne i dotyczy

przede wszystkim produktów pochodzących z importu. Aflatoksyny mogą też być skażone pasze, co nie tylko wywiera szkodliwy wpływ na zwierzęta, ale pośrednio i na człowieka – aflatoksyny B₁ i B₂ przechodzą do mleka w postaci metabolitów, tworząc odpowiednio aflatoksyny M₁ i M₂ o podobnym działaniu toksycznym. Przechodzenie do mleka osiąga poziom 1–3% [9]. Aflatoksyna B₁ może się także kumulować w jajach i mięsie, stwarzając tym samym zagrożenie dla konsumenta [2].

3.2. Ochratoksyny

Najważniejsza z ochratoksyn – ochratoksyna A (OTA), produkowana jest przez *Penicillium verrucosum* w klimacie umiarkowanym i chłodnym oraz niektóre gatunki *Aspergillus* w klimacie gorącym i tropikalnym. Wykazuje działanie nefrotoksyczne (uszkadza nerki) i nefrokancerogenne. *Penicillium verrucosum* jest szczególnie związane ze składowaniem zbóż i występuje pospolicie w krajach Europy Północnej oraz Kanadzie. Natomiast *Aspergillus alutaceus* występuje pospolicie na ziarnach surowej kawy i ziołach, izolowano go również często z ziaren kakaowych, soi, orzechów ziemnych, ryżu i kukurydzy [7]. Szczególnym zainteresowaniem OTA cieszy się od 1993 r., kiedy została zaklasyfikowana przez Międzynarodową Agencję Badań nad Rakiem (IARC) jako związek prawdopodobnie cancerogenny dla człowieka (grupa 2B). Istnieją jednoznaczne dowody na rakotwórcze działanie OTA w doświadczeniach na zwierzętach, dowody na rakotwórcze działanie OTA na ludzi są niepełne.

Obecnie szacuje się, że w Europie przynajmniej 50% dziennego pobrania OTA pochodzi ze zbóż i produktów zbożowych, przede wszystkim chleba, mąki, produktów mącznych, müsli. OTA występuje naturalnie we wszystkich zbożach, w tym: w kukurydzy, jęczmieniu, pszenicy, sorgu, życie, owsie i ryżu. W znacznej mierze OTA skażone bywają kawa, nasiona soi, fasoli, ciecierzycy, piwo, czerwony sok winogronowy, czerwone wino, kakao, rodzynki, orzechy, suszone owoce i czekolada [9].

Ochratoksyna A występuje na ogół w produktach źle wysuszonych i składowanych w nieodpowiednich warunkach wilgotności i temperatury. Jeśli skażone zboże zostanie podane jako pasza zwierzęciu, zwłaszcza trzodzie chlewnej, może dojść do jej kumulacji w mięsie, narządach i krwi. OTA bywa też wykrywana w przetworach mięsnych wyprodukowanych z udziałem podrobów [2]. Jedynie mleko i wołowina nie są zainfekowane tą substancją, ponieważ w układzie pokarmowym zwierzęcia zostaje ona wcześniej poddana rozkładowi.

3.3. Patulina

Patulina to produkt metabolizmu wielu rodzajów pleśni, takich jak: *Penicillium patulum*, *P. urticae*, *P. chrysogenum*, *P. roqueforti*, *Aspergillus clavatus*, *A. terreus* i *Byssosclamyces nivea*, które mogą znajdować się w zbożach, pieczywie i produktach mięsnych. Często występuje wspólnie z cytryniną. Spośród wyżej wymienionych grzybów pleśniowych najważniejszym gatunkiem, który powszechnie skaża przede wszystkim jabłka, a w niewielkim stopniu inne owoce, jest *Penicillium expansum* [11]. Substancja ta jest dość często wykrywana w nadgniłych owocach, a także w sokach owocowych. Może ulec zniszczeniu w czasie procesu fermentacji lub po dodaniu SO_2 , co oznacza, że wina są wolne od tego związku. Patulina uszkadza genotyp przez inicjowanie rozrywania łańcucha DNA, dodatkowo dezaktywuje enzymy zawierające grupę SH.

Patulina jest wykrywana nie tylko w jabłkach i produktach z nich wytworzonych, ale także w owocach dotkniętych brązową zgnilizną (*brown rot*), np. w bananach, ananasach, winogronach, brzoskwiniach, morelach i pomidorach oraz w spleśniałych kompotach i soku gruszkowym. Poziom patuliny w tych środkach spożywczych jest bardzo niski. U zwierząt spożywających paszę skażoną patuliną (np. spleśniałe jabłka) stwierdzono m.in. zwiększoną przepuszczalność naczyń krwionośnych, zahamowanie diurezy, uszkodzenia wątroby [2].

3.4. Fumonizyny

Fumonizyny to mikotoksyny wyizolowane w 1988 r., produkowane przez ograniczoną liczbę pleśni z rodzajów *Fusarium*, z których najważniejszymi są *F. moniliforme* i *F. proliferatum*. Fumonizyny na całym świecie infekują przede wszystkim zbiory kukurydzy [16]; ich obecność stwierdzano zwłaszcza w rozdrobnionym ziarnie kukurydzy, mące kukurydzianej, kaszy kukurydzianej, polencie, płatkach kukurydzianych i kukurydzy cukrowej. Obecnie znane są trzy naturalnie występujące fumonizyny, nazwane B_1 , B_2 i B_3 . W naturalnie zanieczyszczonej żywności i paszach zawsze najobficiej występuje fumonizyna B_1 (stanowi ok. 70% całkowitej ilości) i kolejno B_2 i B_3 . Mikotoksyny te powodują wiele różnych efektów biologicznych, np. rozmiękanie leukodystroficzne u koni, obrzęk płuc u świń, mają działanie nefrotoksyczne oraz aktywują nowotwór wątroby u szczurów. W przypadku ludzi stwierdzono statystyczną zależność pomiędzy występowaniem fumonizyn a nowotworem przetyku. Poza tym fumonizyny (razem z trichotecenami i deoksynivalenolem) przypuszczalnie sprzyjają rozwojowi zmian nowotworowych w wątrobie. Na podstawie dostępnych danych toksykologicznych Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem (IARC) uznała toksyny *F. moniliforme* za potencjalnie kancerogenne dla ludzi (klasa 2B kancerogenów) [12].

3.5. Trichoteceny

Trichoteceny to ponad 100 rodzajów mikotoksyn, które mogą być wytwarzane przez grzyby z rodzaju *Fusarium*, przede wszystkim *F. graminearum* i *F. culmorum* na zbożach oraz jego produktach [11]. Wykazują różnorodne działanie biologiczne: fitotoksyne, owadobójcze, przeciwwirusowe i cytotoksyczne. Powodują hamowanie biosyntezy białek w komórkach ssaków. Zatrucie trichotecenami powoduje wymioty, biegunki, brak apetytu, stany zapalne przewodu pokarmowego, uszkodzenie komórek nerwowych, mięśnia sercowego, systemu limfatycznego, jąder, grasicy. Do najważniejszych trichotecenów należą: DON (deokyniwalenol, czyli womitoksyna), NIV (niwalenol), toksyny HT-2 oraz DAS (diacetoksyscirpenol). Podobnie jak ochratoksyna A trichoteceny rozwijają się na zbożach i w paszach w warunkach klimatu chłodnego i umiarkowanego, najczęściej w czasie długotrwałych okresów chłodu, w okresie wegetacji i żniw przebiegających w warunkach dużej wilgotności. Ich występowaniu sprzyja chłodna, wilgotna jesień i wczesna zima z częstymi zmianami pogody [2].

Znaczne ilości DON wykrywano w pszenicy, jęczmieniu, kukurydzy i owsie z Ameryki Północnej, Japonii i Europy [1, 14], mniejsze zanieczyszczenia występują w życie, sorgu i ryżu. Rośliny zostają zainfekowane jeszcze na polu, co powoduje zmniejszenie plonów i pogorszenie ich jakości. Spożycie przez zwierzęta zanieczyszczonych pasz może przyczyniać się do wymiotów, biegunki, osłabienia apetytu, stanów zapalnych przewodu pokarmowego oraz wielu innych dolegliwości. Mimo tego DON jest dość szybko metabolizowany przez organizm i raczej nieprzenoszony do produktów zwierzęcych.

Najbardziej niebezpieczna z trichocenów jest toksyna HT-2, produkowana przed wszystkim przez *Fusarium sporotrichoides* i *F. poae* [11]. Uważa się, że miała ona udział w wybuchu epidemii toksycznej aleukii żywieniowej (*alimentary toxic aleukia*), choroby wywołanej spożyciem przechowywanego przez całą zimę ziarna, która podczas II wojny światowej dotknęła tysiące ludzi na Syberii i zdiełsiatkowała całe wsie. Pomimo bogatej literatury na temat toksyny T-2 istniejące dane wskazują, że jest raczej mało pospolita, przede wszystkim dlatego że obecnie ziarno zbiera się najczęściej w odpowiedni sposób [12].

3.6. Zearalenon

Zearalenon (toksyna T-2) to mikotoksyna o działaniu estrogennym, produkowana przez niektóre gatunki *Fusarium*, głównie *F. graminearum* i *F. culmorum*. Występuje na zbożach, zwłaszcza owsie, kukurydzy i w ich przetworach, najczęściej razem z trichotecenami. Zearalenon wykazuje małą toksyczność ostrą. Mimo to jego obecność w paszy przez długi czas była poważnym problem w rolnictwie przede wszystkim dlatego że powodował bezpłodność i inne pokrewne

choroby, m.in. poronienia czy urodzenia martwych osobników, zwłaszcza u świń i owiec [2, 12].

Do akumulacji zearalenonu może dochodzić przed zbiorami, w zarażonym *Fusarium* zbożu rosnącym na polu. Duże ilości zearalenonu powstają w zainfekowanej, wilgotnej kukurydzy przechowywanej w warunkach zmiennej temperatury w otwartych żłobach [9, 12]. Istnieją pojedyncze doniesienia o obecności tej toksyny w piwie, orzechach włoskich, bananach, soi i sorgo [12]. Zearalenon to substancja potencjalnie niebezpieczna dla człowieka, która może przyczynić się do rozwoju raka szyjki macicy i objawów estrogennych u małych dziewczynek [2].

3.7. Cytrynina

Cytrynina jest mikotoksyną produkowaną przez wiele pleśni z rodzaju *Penicillium* i *Pergillus*, często towarzyszy temu powstawanie również ochratoksyny A. Toksyna infekuje głównie ryż, występuje także w ziarnach oraz w chlebie. Cytrynina ma właściwości mutagenne, teratogenne, kancerogenne oraz fitotoksyczne [2, 12].

4. Mikotoksyny w żywności – maksymalne poziomy zanieczyszczeń

W celu ochrony zdrowia konsumentów liczne kraje świata, w tym Unia Europejska, określiły maksymalne dopuszczalne poziomy zanieczyszczeń mikotoksynami wybranych produktów spożywczych szczególnie na nie narażonych. W Polsce, jako kraju członkowskim UE, obowiązującym aktem prawnym w tym zakresie jest rozporządzenie Komisji nr 466/2001/WE z dnia 8 marca 2001 r. z późn. zm., tj.:

- Rozporządzenie Komisji nr 257/2002/WE z dnia 12 lutego 2002 r. zmieniające rozporządzenie nr 194/97 ustalające najwyższe poziomy niektórych zanieczyszczeń w środkach spożywczych oraz rozporządzenie ustalające najwyższe poziomy niektórych zanieczyszczeń w środkach spożywczych,
- Rozporządzenie Komisji nr 455/2004 z dnia 11 marca 2004 r. zmieniające rozporządzenie nr 466/2001 w sprawie patuliny,
- Rozporządzenie Komisji nr 683/2004 z dnia 13 kwietnia 2004 r. zmieniające rozporządzenie nr 466/2001 w sprawie aflatoksyn i ochratoksyny A w żywności dla niemowląt i małych dzieci,
- Rozporządzenie Komisji nr 123/2005 z dnia 26 stycznia 2005 r. zmieniające rozporządzenie nr 466/2001 w odniesieniu do ochratoksyny A,
- Rozporządzenie Komisji nr 856/2005 z dnia 6 czerwca 2005 r. zmieniające rozporządzenie nr 466/2001 w odniesieniu do toksyn *Fusarium* [13].

W związku z rozwojem toksykologii i chemii analitycznej ustawodawstwo dotyczące mikotoksyn ciągle się zmienia. Planuje się m.in. wprowadzenie wymagań dotyczących toksyn T-2 i HT-2, które dotychczas nie były normowane.

Dane dotyczące maksymalnych dopuszczalnych poziomów zanieczyszczeń żywności mikotoksynami zaprezentowano w tabelach 4–9.

Tabela 4. Maksymalne dopuszczalne poziomy zanieczyszczeń żywności aflatoksynami

Lp.	Produkt	Maksymalny dopuszczalny poziom ($\mu\text{g}/\text{kg}$ lub $\mu\text{g}/\text{l}$)		
		B_1	$B_1 + B_2 + G_1 + G_2$	M_1
1	Orzechy arachidowe, orzechy, owoce suszone, produkty ich przetwarzania, przeznaczone do bezpośredniego spożycia lub użycia jako składnik środków spożywczych	2	4	–
2	Orzechy arachidowe, które muszą być sortowane lub będą poddane innym fizycznym zabiegom przed przeznaczeniem do bezpośredniego spożycia lub użyciem jako składnik żywności	8	15	–
3	Orzechy i owoce suszone, które muszą być sortowane lub będą poddane innym fizycznym zabiegom przed przeznaczeniem do bezpośredniego spożycia lub użyciem jako składnik żywności	5	10	–
4	Ziarno zboża, łącznie z gryką, oraz produkty ich przetwarzania, przeznaczone do bezpośredniego spożycia przez ludzi lub użycia jako składnik środków spożywczych	2	4	–
5	Ziarno zboża, łącznie z gryką, a z wyłączeniem kukurydzy, które muszą być sortowane lub będą poddane innym fizycznym zabiegom przed przeznaczeniem do bezpośredniego spożycia lub użyciem jako składnik żywności	2	4	–
6	Przyprawy: <i>Capsicum spp.</i> (suszone owoce, całe lub rozdrobnione, włączając chilli, pieprz cayenne i paprykę); <i>Piper spp.</i> (owoce, biały i czarny pieprz); <i>Myristica fragrans</i> (gałka muszkatołowa); <i>Zingiber officinale</i> (imbir); <i>Curcuma longa</i> (kurkuma)	5	10	–
7	Mleko (surowe, mleko do przetwórstwa, spożywcze)	–	–	0,05
8	Żywność dla niemowląt i małych dzieci i przetworzona żywność na bazie zbóż dla niemowląt i małych dzieci	0,1	–	–
9	Preparaty do początkowego i dalszego żywienia niemowląt, włączając mleko do początkowego i dalszego żywienia niemowląt	–	–	0,025
10	Żywność dietetyczna specjalnego przeznaczenia medycznego przeznaczona specjalnie dla niemowląt	0,1	–	0,025

Źródło: opracowanie własne na podstawie: [13].

Tabela 5. Maksymalne dopuszczalne poziomy zanieczyszczenia żywności ochratoksyną A

Lp.	Produkt	Maksymalny dopuszczalny poziom ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
1	Ziarno zboża nieprzetworzone (łącznie z nieprzetworzonym ryżem i gryką)	5,0
2	Produkty otrzymane ze zboża (łącznie z przetworami zbożowymi i ziarnami zbóż przeznaczonymi do bezpośredniego spożycia przez ludzi)	3,0
3	Suszone owoce winogron (rodzynki, sułtanki)	10,0
4	Palone ziarna kawy i mielona kawa palona	5,0
5	Kawa rozpuszczalna instant	10,0
6	Wina (czerwone, białe i różowe) oraz inne wina i/lub napoje oparte na moszczu gronowym	2,0
7	Sok winogronowy, moszcz gronowy przeznaczony do bezpośredniej konsumpcji przez człowieka	2,0
8	Żywność dla niemowląt i przetworzona żywność na bazie zbóż dla niemowląt i małych dzieci	0,50
9	Żywność dietetyczna specjalnego przeznaczenia medycznego dla niemowląt	0,50

Źródło: opracowanie własne na podstawie: [13].

Tabela 6. Maksymalne dopuszczalne poziomy zanieczyszczenia żywności patuliną

Lp.	Produkt	Maksymalny dopuszczalny poziom ($\mu\text{g}/\text{kg}$ lub $\mu\text{g}/\text{l}$)
1	Soki i nektary owocowe, szczególnie otrzymane z jabłek oraz sok owocowy będący składnikiem innych napojów, koncentrat soków owocowych po odtworzeniu zgodnie z instrukcją producenta	50,0
2	Napoje alkoholowe, cydri i inne fermentowane napoje otrzymane z jabłek lub zawierające sok jabłkowy	50,0
3	Produkty z jabłek stałe, włączając purée jabłkowe, kompot jabłkowy, przeznaczone do bezpośredniej konsumpcji	25,0
4	Sok jabłkowy i produkty jabłkowe stałe, włączając purée jabłkowe i kompot jabłkowy dla niemowląt i małych dzieci, oznaczone i sprzedawane jako przeznaczone dla niemowląt i małych dzieci	10,0
5	Inna żywność dla dzieci, niebędąca przetworami zbożowymi	10,0

Źródło: opracowanie własne na podstawie: [13].

Tabela 7. Maksymalne dopuszczalne poziomy zanieczyszczenia żywności deoksyniwalenolem

Lp.	Produkt	Maksymalny dopuszczalny poziom ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
1	Nieprzetworzone ziarno zbóż, inne niż pszenica durum, owies i kukurydza	1250
2	Nieprzetworzona pszenica durum i owies	1750
3	Nieprzetworzona kukurydza	1750 ^a
4	Mąka, włączając mąkę kukurydzianą, grys kukurydziany i kaszę kukurydzianą	750
5	Chleb, pieczywo, herbatniki, przekąski zbożowe i płatki śniadaniowe	500
6	Makaron (suchy)	750
7	Produkty zbożowe dla niemowląt i małych dzieci	200

^a Poziom obowiązujący od 1 lipca 2007 r.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: [13].

Tabela 8. Maksymalne dopuszczalne poziomy zanieczyszczenia żywności zearalenonem

Lp.	Produkt	Maksymalny dopuszczalny poziom ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
1	Nieprzetworzone ziarno zbóż, inne niż kukurydza	100
2	Nieprzetworzona kukurydza	200 ^a
3	Mąka, wyłączając mąkę kukurydzianą	75
4	Mąka kukurydziana, grys kukurydziany i kasza kukurydziana, rafinowany olej kukurydziany	200 ^a
5	Chleb, pieczywo, herbatniki	50
6	Przekąski z kukurydzy i płatki kukurydziane	50 ^a
7	Przekąski z innych zbóż i płatki śniadaniowe	50
8	Produkty z kukurydzy dla niemowląt i małych dzieci	20 ^a
9	Inne produkty zbożowe dla niemowląt i małych dzieci	20

^a Poziom obowiązujący od 1 lipca 2007 r.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: [13].

Tabela 9. Maksymalne dopuszczalne poziomy zanieczyszczenia żywności fumonizynami (suma B₁ i B₂)

Lp.	Produkt	Maksymalny dopuszczalny poziom ^a ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
1	Nieprzetworzona kukurydza	2000
2	Mąka kukurydziana, grys kukurydziany i kasza kukurydziana, rafinowany olej kukurydziany	1000

cd. tabeli 9

Lp.	Produkt	Maksymalny dopuszczalny poziom ^a (µg/kg)
3	Pozostałe produkty kukurydziane do bezpośredniej konsumpcji	400
4	Produkty z kukurydzy dla niemowląt i małych dzieci	200

^a Poziom obowiązujący od 1 października 2007 r.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: [13].

5. Skażenie polskiej żywności mikotoksynami

W warunkach klimatycznych Polski do mikotoksyn najistotniejszych ze względów żywieniowych należą aflatoksyny, ochratoksyna A i trichoteceny, przy czym najważniejszą z toksykologicznego punktu widzenia toksyną pleśniową obecną w zbożach i jedną z najczęściej spotykanych jest ochratoksyna A. Jak wynika z danych prezentowanych w literaturze przedmiotu częstotliwość występowania ochratoksyny A w podstawowych zbożach uprawianych w Polsce wahała się w granicach 8–38% w zależności od roku zbioru i rodzaju zboża, zaś jej zawartość kształtowała się na poziomie 0,15–240 mg/kg zboża, przy czym żyto było częściej skażone niż pszenica, a średnie zawartości ochratoksyny były w nim wyższe. Dane na temat zawartości ochratoksyny A w ziarnie zbóż w Polsce w latach 1998–2003 ustalonej w badaniach Instytutu Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego w Warszawie w ramach prowadzonego w Polsce monitoringu zanieczyszczeń w żywności przedstawiono w tabeli 10. Z danych tych wynika, że procentowa zawartość OTA w próbkach, mimo wahań w poszczególnych latach, nie ulega większym zmianom. Zmniejsza się natomiast procent próbek o zawartości OTA przekraczających dopuszczalny poziom 5 µg/kg.

Jeśli chodzi o zawartość trichotecenów, przeprowadzone dotychczas badania dowodzą, że np. DON (deoksyniwalenol), NIV (niwalenol), toksyna T-2 mogą występować w ok. 30–50% lub nawet 80% próbek zbóż, głównie pszenicy, w zależności od regionu i roku zbioru.

Analiza nielicznych dostępnych danych wskazuje, że konsekwencją skażenia surowców jest występowanie powyższych mikotoksyn w przetworach zbożowych, tym bardziej że procesy technologiczne nie wywierają dużego wpływu na poziom mikotoksyn w produktach gotowych, co wynika ze stosunkowo znacznej ich trwałości (odporność na podwyższoną temperaturę przy wypieku pieczywa czy stabilność w procesach przemiatu ziarna) [2, 9]. W dotychczas prowadzonych badaniach ochratoksynę A wykrywano m.in. w płatkach owsianych, mące pszennej i żytniej, w kaszach oraz pieczywie. Ten ostatni przypadek wzbudza szczególne zaniepokojenie ze względu na stosunkowo wysokie jej stężenie – do

0,5 mg/kg. Zawartości trichotocenów badano dotychczas w otrębach pszennych, płatkach owsianych, kaszkach dla dzieci i niemowląt, zwracając uwagę na szczególnie wysoką ich zawartość w otrębach pszennych.

Tabela 10. Zawartość ochratoksyny A (OTA) w ziarnie zbóż w latach 1998–2003

Rok	Zboże	Liczba próbek	% próbek			Maksymalna zawartość OTA (µg/kg)
			bez OTA	z zawartością OTA poniżej 5 µg/kg	z zawartością OTA powyżej 5 µg/kg	
1998	pszenica	268	69	18	13	850
	żyto	318	42	35	23	1950
1999	pszenica	365	59	21	20	845
	żyto	366	52	20	28	925
2000	pszenica	517	46	34	20	850
	żyto	376	26	35	39	1074
2001	pszenica	289	83	8	9	675
	żyto	278	67	17	16	1100
2002	pszenica	211	81	15	4	198
	żyto	193	75	13	12	225
2003	pszenica	205	69	27	4	76
	żyto	195	62	32	6	45

Źródło: [17].

Orientacyjny obraz zanieczyszczenia polskiej żywności mikotoksynami dają wyniki badań przeprowadzonych w latach 2004–2005 w Instytucie Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego w Warszawie [3]. Analizom na zawartość aflatoksyn B₁, B₂, G₁, G₂, ochratoksyny A, zearalenonu i deoksyniwalenolu poddano w sumie 389 próbek wybranych produktów żywnościowych ogólnie dostępnych na polskim rynku. W 2004 r. obecność aflatoksyn stwierdzono w 23,7% analizowanych próbek orzechów (włoskich, ziemnych, laskowych) na poziomie 0,02–7,80 µg/kg, średnia zawartość aflatoksyny B₁ w orzechach wynosiła 0,13 µg/kg. Obecność aflatoksyn analizowano także w mieszankach przypraw kuchennych. Stwierdzono, że we wszystkich przypadkach (4 próbki) zanieczyszczone były one tym rodzajem mikotoksyn; zawartość kształtowała się na poziomie 0,02–0,04 µg/kg. W przypadku produktów zbożowych (mąki, ziarna, chleba, płatków śniadaniowych itp.) na obecność aflatoksyn przebadano 21 próbek i stwierdzono ich obecność w 3 z nich, co stanowi 14,3% analizowanej grupy. Maksymalna zawartość aflatoksyny B₁ wyniosła 0,02 µg/kg [3].

Zawartość ochratoksyny A stwierdzono w 2004 r. w przetworach zbożowych w 73% analizowanych próbek mąki, płatków śniadaniowych i chleba, na poziomie

0,02–1,71 µg/kg (średnia zawartość 0,14 µg/kg) oraz we wszystkich analizowanych próbkach kawy i rodzynek (16 próbek) na poziomie 0,02–5,70 µg/kg. W 2005 r. badaniom na zawartość aflatoksyn poddano 155 próbek żywności, stwierdzając ich obecność w 25% analizowanych próbek orzechów na poziomie 0,02–1,16 µg/kg (aflatoksyna G₁), w 80% mieszanek przypraw kuchennych i 18,5% próbek przetworów zbożowych (zawartość aflatoksyny B₁ kształtowała się na poziomie 0,04–1,35 µg/kg). Ochratoksynę A wykryto w 74% analizowanych próbek przetworów zbożowych; jej zawartość kształtowała się na poziomie 0,02–8,26% (w wypadku otrąb pszennych). Podwyższoną zawartość ochratoksyny A wykryto w jednej próbce mąki żytniej (na poziomie 4,46 µg/kg) i w jednej z próbek chleba (5,83 µg/kg). Najwyższą zawartość OTA stwierdzono w próbce kawy – 11,9 µg/kg. Pozostałe analizowane produkty (suszone owoce, rodzyunki, przyprawy) zawierały umiarkowane jej ilości [3].

Zawartość zearalenonu i deoksynivalenolu badano w 14 próbkach przetworów zbożowych. Obecność ZEA wykryto w 4 z 9 próbek mąki na poziomie 5,7–19,8 µg/kg. DON wykryto zaś w 1 z 5 analizowanych próbek mąki, w ilości 29,5 µg/kg (mąka żytnia).

Ogólnie rzecz biorąc, analizowana żywność charakteryzowała się niską zawartością mikotoksyn, znacznie poniżej maksymalnych poziomów dopuszczalnych w Unii Europejskiej [3].

6. Podsumowanie

Mikotoksyny to zanieczyszczenia żywności i płodów rolnych pochodzenia naturalnego występujące w wielu produktach spożywczych i paszach. Ich obecność w surowcach rolniczych i artykułach żywnościowych pochodzenia zarówno roślinnego, jak i zwierzęcego (w wyniku kumulacji w tkankach i narządach) stanowi zagrożenie dla zdrowia ludzi i zwierząt i jest przejawem ich niskiej jakości higieniczno-zdrowotnej. Należy jednak pamiętać, że zagrożenie mikotoksynami występuje w całym łańcuchu żywieniowym: od wzrostu roślin i zwierząt aż do momentu spożycia przez człowieka i zwierzęta. Szczególnie ważne w zapobieganiu powstawaniu i gromadzeniu się mikotoksyn są odpowiednie warunki, w których transportuje się i przechowuje żywność i pasze. W związku z intensywnym rozwojem w ostatnich latach transportu kontenerowego, zwłaszcza drogą morską, ładunki masowe, takie jak zboża, kawa, herbata, kakao, śruta sojowa, kukurydziana i rzepakowa oraz inne z uwagi na zdolność do samozagrzewania i zagrożenie zawilgoceniem są szczególnie narażone na powstawanie pleśni i mikotoksyn. Nie można całkowicie usunąć mikotoksyn z żywności i pasz można jednak znacznie ograniczyć ich występowanie, przestrzegając zasad dobrej praktyki rolniczej i przemysłowej.

W polskich warunkach klimatycznych szczególne zagrożenie dla zdrowia mogą stwarzać ochratoxyna A i trichoteceny obecne przede wszystkim w zbożach i ich przetworach oraz aflatoxyny i fumonizyny obecne w niektórych importowanych surowcach i produktach spożywczych. W związku z dużą odpornością mikotoksyn na czynniki zewnętrzne, np. obróbkę cieplną przez gotowanie, pieczenie itp., uzasadnione są eliminacja z rynku zanieczyszczonych nimi produktów oraz prowadzenie ciągłego monitoringu ich zawartości w żywności.

Literatura

- [1] Council for Agricultural Science and Technology Cast. *Mycotoxins: Economic and Health Risks*, Task Force Report 116, Council for Agricultural Science and Technology, Ames, Iowa 1989.
- [2] Czerwiecki L., *Mikotoksyny w żywności jako czynnik zagrożenia zdrowotnego*, „Żywność, Żywnienie a Zdrowie” 1997, nr 4.
- [3] Czerwiecki L., Wilczyńska G., Kwiecień A., *Mycotoxins in Several Polish Food Products in 2004–2005*, Conference Papers of 28 Mycotoxin Workshop, 29–31.05.2006, Wydawnictwo Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2006.
- [4] Gareis M., *Mikotoksyny – spojrzenie wstecz* [w:] *Mikotoksyny i grzyby pleśniowe – zagrożenia dla człowieka i zwierząt*, red. J. Grajewski, Wydawnictwo Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2006.
- [5] Grajewski J., *Mikotoksyny i mikotoksykozy zagrożeniem dla człowieka i zwierząt* [w:] *Mikotoksyny i grzyby pleśniowe – zagrożenia dla człowieka i zwierząt*, red. J. Grajewski, Wydawnictwo Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2006.
- [6] Henry S.H., Bosch G.X., Troxell T.C., Bolger P.M., *Reducing Liver Cancer – Global Incidence of Aflatoxin*, „Science” 1999, vol. 286.
- [7] Kuiper-Goodman T., Scott P.M., Watanabe H., *Review – Risk Assessment of the Mycotoxins Ochratoxin A*, „Biomedical and Environmental Science” 1989, vol. 2.
- [8] Madhyasta S.M., Marquardt R.R., Frohlich A.A., Platford G., Abramson D., *Effects of Different Cereals and Oilseeds Substrates on the Growth and Production of Toxins by Aspergillus Alutaceus and Penicillium Verrucosum*, „Journal of Agriculture and Food Chemistry” 1990, vol. 38.
- [9] Majerus P., *Toksyny grzybów pleśniowych jako cel badawczy organów urzędowego nadzoru artykułów spożywczych* [w:] *Mikotoksyny i grzyby pleśniowe – zagrożenia dla człowieka i zwierząt*, red. J. Grajewski, Wydawnictwo Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2006.
- [10] Miller J.D., *Fungi and Mycotoxins in Grain – Implications for Stored Products Research*, „Journal of Stored Products Research” 1995, vol. 31.
- [11] Moss M.O., *Mycotoxins*, „Mycological Research” 1996, vol. 100.
- [12] Pittet A., *Natural Occurrence of Mycotoxins in Foods and Feeds – an Updated Review*, „Revue of Medicine and Veterinary” 1998, vol. 149, nr 6.

- [13] Postupolski J., *Uregulowania prawne dotyczące mikotoksyn w żywności* [w:] *Mikotoksyny i grzyby pleśniowe – zagrożenia dla człowieka i zwierząt*, red. J. Grajewski, Wydawnictwo Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2006.
- [14] Scott P.M., *Multi-Year Monitoring of Canadian Grains and Grain-Based Foods for Trichothecenes and Zearalenone*, „Food Additives and Contaminants” 1997, vol. 14.
- [15] Scott P.M., *Possibilities of Reduction or Elimination Mycotoxins Present in Cereal Grains* [w:] *Cereal Grains – Mycotoxins, Fungi and Quality in Drying and Storage*, red. J. Chelkowski, Elsevier, Amsterdam 1991.
- [16] Shephard G.S., Thiel P.G., Stockenstrom S., Sydenham E.W., *Worldwide Survey of Fumonisin Contamination of Corn and Corn-based Products*, „Journal of AOAC International” 1996, vol. 79.
- [17] Szteke B., Szymczyk K., *Zanieczyszczenie zbóż na podstawie badań monitoringowych*, „Przegląd Zbożowo-Młynarski” 2005, nr 8.

Biological Contamination of Food. Mycotoxins

Mycotoxins are secondary metabolites of hyphal fungi, i.e. moulds, occurring in many food and feed products. Mycotoxin contamination is a serious problem as agricultural products can get infected with fungi at any stage of production – during plant development in the field or during harvest, processing, storing and transport. Mycotoxins can also occur in the whole food chain – from the growth of plants and animals to the consumption by a man and an animal. In the paper the basic routes of mycotoxin penetration are presented, as well as information on the classification of mycotoxins and their toxicity for organisms is given. The current legal regulations concerning mycotoxins and the admissible contamination levels in food products are presented as well. On the basis of latest literature reports, mycotoxin contamination of Polish food is discussed. It has been stated that the products available on the Polish market are characterized by low mycotoxin content, much below the maximum levels admissible in the EU. However, considering the growing popularity of sea transport which favours mycotoxin development, it is necessary to monitor their levels. It concerns mainly bulk products, such as cereals and their products, coffee, tea, cocoa, spices, dried fruit and nuts etc.