



Mikotoksyny w świeżych owocach – szkodliwe związki pochodzenia naturalnego

Mycotoxins in fresh fruit – harmful compounds of natural origin

Ewelina Farian^{1, B-D}

¹ Instytut Medycyny Wsi im. Witolda Chodźki, Polska

A – Koncepcja i projekt badania, B – Gromadzenie i/lub zestawianie danych, C – Analiza i interpretacja danych, D – Napisanie artykułu, E – Krytyczne zrecenzowanie artykułu, F – Zatwierdzenie ostatecznej wersji artykułu

Farian E. Mikotoksyny w świeżych owocach – szkodliwe związki pochodzenia naturalnego. Med Środow. 2019; 22(1–2):

■ Streszczenie

Mikotoksyny to wtórne metabolity grzybowe powszechnie występujące w żywności, które stanowią zagrożenie dla zdrowia konsumenta. Maksymalne poziomy głównych mikotoksyn dozwolone w żywności zostały ustalone na całym świecie na podstawie m.in. oceny toksyczności, źródła narażenia oraz popytu i podaży zanieczyszczonych surowców. Szczególną uwagę skupia się na produktach przeznaczonych do spożycia przez ludzi. Znanych jest kilkaset różnych mikotoksyn, niektóre charakteryzują się potencjałem antybiotykowym, a inne są wyjątkowo toksyczne dla ludzi i zwierząt. Głównymi mikotoksynami wykrywanymi w owocach są aflatoksyny, ochratoksyny, patulina, alternariol, eter monometylowy alternariolu, tentoksyna oraz fumonizyna. Związki te są stabilne w wysokich temperaturach i utrzymują się w produktach przez długi okres przechowywania. Ponadto mikotoksyny nie mają charakterystycznego zapachu i nie zmieniają właściwości organoleptycznych żywności, co utrudnia ich wykrywanie. Spożywane metabolity mogą wpływać na pojedynczy narząd lub wiele narządów docelowych, prowadząc do działania cytogenego, mutagenego, rakotwórczego, teratogenego lub immunosupresyjnego. W niniejszej pracy przedstawiono charakterystykę głównych mikotoksyn naturalnie występujących w owocach, co polega na ocenie toksyczności oraz omówieniu czynników wpływających na ich produkcję czy zdolność do rozprzestrzeniania się wewnątrz tkanek owocowych. Zebrane informacje pozwolą na podniesienie świadomości konsumentów w zakresie bezpieczeństwa żywności. Do tej pory w centrum zainteresowania były jedynie poziomy mikotoksyn zawartych w suszonych czy liofilizowanych owocach, istnieje jednak niewiele informacji dotyczących bezpośredniego spożycia żywności zawierającej mikotoksyny.

■ Słowa kluczowe

mikotoksyny, grzyby pleśniowe, owoce, bezpieczeństwo żywności

■ Abstract

Mycotoxins are secondary fungal metabolites commonly found in foods that pose a health risk to consumers. Maximum levels of major mycotoxins allowed in food have been set worldwide based on, among others, toxicity assessment, sources of exposure, and demand and supply of contaminated raw materials. Particular attention is mainly focused on products intended for human consumption. Several hundred different mycotoxins are known, some of which have antibiotic potential while and others are extremely toxic to humans and animals. The main mycotoxins found in fruit are aflatoxins, ochratoxins, patulin, alternariol, alternariol monomethyl ether, tentoxin and fumonisin. These compounds are stable at high temperatures and persist in products for a long period of storage. In addition, mycotoxins do not have a characteristic odour and do not change the organoleptic properties of food, which makes detection difficult. Consumed metabolites can affect a single organ or target multiple organs, leading to cytogenic, mutagenic, carcinogenic, teratogenic or immunosuppressive activity. The aims of the study are to characterize the main mycotoxins naturally found in fruit, based on assessment of their toxicity, and to discuss the factors affecting their production or ability to spread inside fruit tissues. The information collected will help raise consumer awareness of food safety. Until now, only the levels of mycotoxins contained in dried or freeze-dried fruits have been in the spotlight, but there is little information on their direct consumption.

■ Key words

mycotoxins, filamentous fungi, fruits, food safety

■ WPROWADZENIE

Mikotoksyny to wtórne metabolity wytwarzane przez różne rodzaje grzybów strzępkowych, należących głównie do

rodzajów *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Byssoschlamys* i *Alternaria*. Ponadto wymienione rodzaje mikroorganizmów stanowią główny czynnik powodujący rozpad owoców na różnych etapach patogenezы [1–3]. Bennet zdefiniował mikotoksyny jako naturalne produkty wytwarzane przez grzyby, które wywołują reakcję toksyczną, gdy są wprowadzane w niskim stężeniu do organizmów ludzi i zwierząt

Adres do korespondencji: Ewelina Farian, Instytut Medycyny Wsi im. Witolda Chodźki, Polska
E-mail: farian.ewelina@imw.lublin.pl

[4]. Tworzenie i gromadzenie się mikotoksyny w produktach żywnościowych może wystąpić nie tylko na polu uprawnym, ale również podczas ich przechowywania, przetwarzania czy dystrybucji [5]. Istnieją dwie grupy grzybów wytwarzających mikotoksyny w żywności: grzyby polowe, które infekują uprawy przed zbiorem, oraz grzyby przechowalniane, które występują dopiero po zbiorach. Wśród toksycznych grzybów polowych można wyróżnić trzy typy: patogeny roślinne, grzyby rosnące na starzejących się lub poddanych stresowi roślinach oraz grzyby, które początkowo kolonizują roślinę przed zbiorem, predysponując produkt do zanieczyszczenia mikotoksynami po zbiorach [6]. Wzrost grzybów na spożywanych produktach nie jest konieczny do występowania w nich szkodliwych związków. Ze względu na stabilność mikotoksyn w środowisku mogą być obecne w żywności wówczas, gdy grzyby zostały skutecznie zwalczone przy pomocy chemicznych środków ochrony roślin [7]. Mikotoksyny posiadają również zdolność dyfuzji z uszkodzonych, zgniłych części owoców do zdrowych. Wymienione właściwości wskazują, że stanowią one poważne zagrożenie zarówno dla zdrowia publicznego, jak i ochrony zdrowia zwierząt [3]. Spożywanie żywności zanieczyszczonej metabolitami grzybów może przyczynić się do występowania wielu negatywnych skutków zdrowotnych [8].

Występowanie najczęściej pojawiających się mikotoksyn w owocach

Obecnie zidentyfikowano i zgłoszono ponad 300 mikotoksyn, jednak tylko nieliczne z nich stanowią zagrożenie bezpieczeństwa żywności. Mikotoksyny najczęściej występujące w owocach i ich przetworzonych produktach to aflatoksyny, ochratoksyny, patulina, fumonizyny oraz toksyny wytwarzane przez grzyby z rodzaju *Alternaria* (tab. 1) [9]. Związki te mogą współwystępować w produktach rolnych, o czym świadczy fakt, że większość grzybów jest w stanie wytwarzać wiele mikotoksyn, a produkty żywnościowe mogą być skażone przez kilka rodzajów grzybów jednocześnie [10].

Czynniki wpływające na produkcję mikotoksyn w owocach

Produkcja i obecność mikotoksyn zależy od wielu czynników występujących zarówno przed, jak i po zbiorach owoców. Ryzyko wytwarzania tych związków rośnie wraz ze wzrostem warunków sprzyjających rozwojowi grzybów, szczególnie w przypadku stosowania nieprawidłowych praktyk rolniczych [10]. Czynniki te możemy sklasyfikować jako fizyczne, chemiczne i biologiczne. Czynniki fizyczne obejmują warunki środowiskowe sprzyjające kolonizacji grzybów oraz wytwarzaniu mikotoksyn. Zaliczamy do nich m.in. położenie

geograficzne miejsca, w którym owoc jest uprawiany i zbierany, temperaturę, wilgotność oraz obecność patogenów na owocach. Aktualne zmiany klimatu objawiające się głównie wzrostem temperatury powietrza mają znaczący wpływ na etapy i tempo rozwoju grzybów toksogennych, wpływając jednocześnie na warunki produkcji mikotoksyn. Czynniki chemiczne obejmują stosowanie fungicydów i/lub nawozów. Natomiast podstawę czynników biologicznych stanowią interakcje zachodzące pomiędzy mikotoksycznymi gatunkami grzybów a substratem. Do tych czynników możemy zaliczyć m.in. szczep grzyba, jak również rodzaj i odmianę owoców [20–23].

Powszechnie uważa się, że podatność owoców na uszkodzenia mikrobiologiczne po zbiorze zależy w dużej mierze od stopnia dojrzałości. Owoce stają się bardziej podatne na inwazję grzybową wraz z procesem dojrzewania. Przyczynia się do tego wzrost zawartości cukrów, osłabienie indukowanych odpowiedzi obronnych oraz zmiany pH substratów [24]. Większość owoców charakteryzuje się wysoką kwasowością, mieszczącą się w przedziale od 5,0 do 2,5. Tak wysokie stężenie jonów wodorowych powoduje zahamowanie wzrostu większości gatunków bakterii, stanowiąc jednocześnie dopuszczalny zakres pH dla rozwoju wielu gatunków grzybów. Z powodu kwasowości grzyby są zatem głównymi mikroorganizmami powodującymi psucie się owoców, co wiąże się, ze zwiększoną ilością mikotoksyn [7].

Produkcja mikotoksyn jest złożonym i wieloczynnikowym procesem. Mnogość tych czynników stanowi główną trudność w ocenie ryzyka wpływu mikotoksyn na zdrowie ludzi i zwierząt. Ich obecność uwarunkowana jest rozwojem grzybów, jednak nie oznacza to, że produkt pozbawiony grzybów nie może zawierać mikotoksyn. Nawet po zniszczeniu biomasy grzyba, ze względu na stabilność, metabolity nadal są obecne w produkcie [10, 25].

Wpływ mikotoksyn na zdrowie

Do narażenia na mikotoksyny dochodzi głównie drogą pokarmową, jednak związki te mogą wnikać do organizmu również poprzez skórę czy drogi oddechowe. Toksyczny wpływ mikotoksyn na zdrowie ludzi i zwierząt określamy mianem mikotoksykozy [26]. Wywołana jest przez związki naturalnie występujące w środowisku, a zatem zatrucie mikotoksynami jest analogiczne do patologii spowodowanych ekspozycją na pestycydy lub pozostałości metali ciężkich [27]. W przypadku ludzi większość mikotoksykoz wynika z jedzenia skażonej żywności, a objawy zależą od rodzaju mikotoksyny, ilości spożywanych metabolitów, czasu trwania ekspozycji oraz pewnych czynników indywidualnych związanych z pacjentem, takich jak wiek, płeć, stan zdrowia czy dieta [28].

Tabela 1. Mikotoksyny najczęściej występujące w owocach

Mikotoksyna	Gatunek grzyba produkujący mikotoksynę	Występowanie w owocach	Źródło
Aflatoksyna	<i>Aspergillus flavus</i> , <i>A. parasiticus</i>	Figi, jabłka, owoce cytrusowe	[7], [3]
Ochratoksyna	<i>A. ochraceus</i> , <i>A. carbonarius</i> , <i>A. niger</i> , <i>Penicillium verrucosum</i> , <i>P. nordicum</i>	Jabłka, gruszki, winogrona, brzoskwinie, truskawki, wiśnie, porzeczki	[11], [12], [5], [13]
Patulina	<i>P. expansum</i> , <i>P. claviforme</i> , <i>P. urticae</i> , <i>P. patulum</i> , <i>A. clavatus</i> , <i>Byssoclamys fulva</i> , <i>B. nivea</i> , <i>Alternaria alternata</i>	Jabłka, wiśnie, truskawki, maliny, banany, śliwki, brzoskwinie, jagody, gruszki	[7], [14], [15]
Alternariol, eter monometylowy alternariolu, tentoksyna	<i>A. alternata</i>	Truskawki, jabłka, czereśnie, jagody, pomarańcze, granaty	[16], [5], [17]
Fumonizyna	<i>A. niger</i> , <i>Fusarium citrinium</i> , <i>F. solani</i> , <i>F. proliferatum</i>	Winogrona, banany	[18], [19]

Tabela 2. Skutki zdrowotne działania wybranych mikotoksyn

Mikotoksyna	Efekt zdrowotny	Źródło
Aflatoksyna	Rakotwórczy, mutagenny, teratogeny, immunotoksyczny, hepatotoksyczny, genotoksyczny	[34], [35]
Ochratoksyna	Nefrotoksyczny, hepatotoksyczny, neurotoksyczny, immunotoksyczny, rakotwórczy, neurotoksyczny, teratogeny, embriotoksyczny	[36], [37]
Patulina	Immunotoksyczny, rakotwórczy, teratogeny, embriotoksyczny, mutagenny, działanie żołądkowo-jelitowe	[38]
Alternariol, eter monometylowy alternariolu, tentoksyna	Mutagenny, rakotwórczy, fetotoksyczny, teratogeny, cytotoksyczny, estrogeny, hamowanie aktywności enzymów i fotofosforylacji, zakłócenie metabolizmu sfingolipidów	[39]
Fumonizyna	Rakotwórczy, nefrotoksyczny, hepatotoksyczny, immunosupresyjny	[40]

Szczególnie na działanie mikotoksyn narażone są osoby z obniżoną odpornością. Gdy mikotoksyny są wprowadzane do organizmu konsumenta wraz z pożywieniem, początkowo wchodzi w interakcje z przewodem pokarmowym. Zasadniczo bariera jelitowa w przewodzie pokarmowym działa jak filtr wychwytyjący szkodliwe mikotoksyny. Stwierdzono jednak, że niektóre z nich mogą zmieniać prawidłowe funkcje jelit, takie jak utrzymanie ciągłości bariery obronnej, wywołanie miejscowej odpowiedzi immunologicznej czy wchłanianie składników odżywczych. Związki te wpływają negatywnie również na mikroflorę jelitową, która jest w dużej mierze odpowiedzialna za ogólny stan zdrowia gospodarza. Do łagodnych objawów ze strony układu pokarmowego możemy zaliczyć ból brzucha, nudności, wymioty, biegunkę lub inne problemy żołądkowo-jelitowe [29, 30]. Osoby narażone na mikotoksyny charakteryzuje również szeroki zakres objawów związanych z układem nerwowym, w tym złe samopoczucie, zmęczenie zaburzenia poznawcze lub depresja [31].

Spożywanie tych związków może powodować zarówno ostre, jak i przewlekłe działanie toksyczne. Toksyczność ostrą charakteryzuje silne działanie toksyczne w postaci zaburzeń czynności fizjologicznych, a nawet śmierci. Objawy pojawiają się w krótkim czasie, po jednorazowym spożyciu szkodliwych substancji, często w wysokich dawkach. Natomiast toksyczność przewlekła wynika z narażenia na niskie dawki mikotoksyn przez długi czas. Charakteryzuje się słabszymi objawami, np. obniżoną odpornością na patogeny, zaburzeniami w prawidłowym funkcjonowaniu narządów lub nowotworami, występującymi po początkowym okresie narażenia [25, 27, 32].

Mikotoksyny mogą wykazywać działanie na poziomie komórek i tkanek, jak również całego organizmu. Ich toksyczność obejmuje działanie rakotwórcze, mutagenne, neurotoksyczne, nefrotoksyczne, hepatotoksyczne, dermatotoksyczne, estrogenne oraz cytotoksyczne [33]. Poszczególne mikotoksyny wykazują nieznaczne różnice w zakresie negatywnych skutków zdrowotnych (tab. 2).

WNIOSKI

Świeże owoce mogą być zanieczyszczone różnymi grzybami produkującymi szkodliwe metabolity wtórne w postaci mikotoksyn. Obecność tych związków w łańcuchu pokarmowym budzi poważne obawy o zdrowie ludzi ze względu na ich zdolność do wywoływania ciężkich efektów toksyczności przy niskich poziomach dawek. W ostatnich latach coraz większe znaczenie dla bezpieczeństwa żywności ma zanieczyszczenie szkodliwymi związkami pochodzenia naturalnego. Fakt, iż nie można ich całkowicie wyeliminować z żywności, sprawia,

że działania mające na celu ochronę zdrowia publicznego polegają jedynie na aktualizacji danych i ustaleniu bezpiecznego poziomu tych związków. W tym celu konieczne jest prowadzenie ciągłych badań dotyczących kontroli stężenia mikotoksyn w produktach rolnych, hamowania wzrostu toksogennych pleśni oraz poprawy technik wykrywania tych związków w żywności. Ważne jest również podniesienie świadomości zarówno konsumentów, jak i producentów żywności odnośnie do potencjalnych źródeł i czynników wpływających na skażenie mikrobiologiczne produktów spożywanych w stanie surowym lub w minimalnym stopniu przetworzonych.

PIŚMIENICTWO

- Solhaug A, Eriksen SG, Holme JA. Mechanisms of action and toxicity of the mycotoxin alternariol: a review. *Basic Clin Pharmacol Toxicol.* 2016; 119(6): 533–539.
- Karlovsky P, Suman M, Berthiller F, De Meester J, Eisenbrand G, Perrin I, et al. Impact of food processing and detoxification treatment on mycotoxin contamination. *Mycotoxin Res.* 2016; 32: 179–205.
- Barkai-Golan R, Paster N. Mouldy fruits and vegetables as a source of mycotoxins: part 1. *World Mycotoxin J.* 2008; 1(2): 147–159.
- Bennett JW. Mycotoxins, mycotoxicoses, mycotoxicology and mycopathology. *Mycopathologia* 1987; 100: 3–5.
- Fernández-Cruz ML, Mansilla ML, Tadeo JL. Mycotoxins in fruits and their processed products: Analysis, occurrence and health implications. *J Adv Res.* 2010; 1: 113–122.
- Agriopoulou S, Stamatelopoulos E, Varzakas T. Advances in occurrence, importance, and mycotoxin control strategies: prevention and detoxification in foods. *Foods.* 2020; 9(2): 28.
- Drusch S, Ragab W. Mycotoxins in fruits, fruit juices, and dried fruits. *J Food Prot.* 2003; 66(8): 1514–1527.
- Abrunhosa L, Morales H, Soares C, Calado T, Vila-Chã AS, Pereira M, et al. A review of mycotoxins in food and feed products in Portugal and estimation of probable daily intakes. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2016; 56(2): 249–65.
- Alshannaq A, Yu JH. Occurrence, toxicity, and analysis of major mycotoxins in food. *Int J Environ Res Public Health.* 2017; 13: 14(6).
- Smith MC, Madec S, Coton E, Hymery N. Natural co-occurrence of mycotoxins in foods and feeds and their in vitro combined toxicological effects. *Toxins (Basel).* 2016; 8(4): 94.
- Kapetanakou AE, Nestora S, Evageliou V, Skandamis PN. Sodium alginate-cinnamom essential oil coated apples and pears: Variability of *Aspergillus carbonarius* growth and ochratoxin A production. *Food Res Int.* 2019; 119: 876–885.
- Zhang H, Apaliya MT, Mahunu GK, Chen L, Li W. Control of ochratoxin A-producing fungi in grape berry by microbial antagonists: a review. *Trends Food Sci Tech.* 2016; 51: 88–97.
- Möller TE, Nyberg M. Ochratoxin A in raisins and currants: basic extraction procedure used in two small marketing surveys of the occurrence and control of the heterogeneity of the toxins in samples. *Food Addit Contam.* 2003; 20(11): 1072–6.
- Ioi JD, Zhou T, Tsao R, Marcone MF. Mitigation of patulin in fresh and processed foods and beverages. *Toxins (Basel).* 2017; 9(5): 157.
- Moake MM, Padilla-Zakour OI, Worobo RW. Comprehensive review of patulin control methods in foods. *Compr. Rev Food Sci Food Saf.* 2005; 1.

16. Juan C, Oueslati S, Mañes J. Evaluation of *Alternaria* mycotoxins in strawberries: quantification and storage condition. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess.* 2016; 33(5): 861–8.
17. Escrivá L, Oueslati S, Font G, Manyes L. *Alternaria* mycotoxins in food and feed: an overview. *J Food Qual.* 2017; 1569748: 20.
18. Logrieco A, Ferracane R, Haidukowsky M, Cozzi G, Visconti A, Ritieni A. Fumonisin B(2) production by *Aspergillus niger* from grapes and natural occurrence in must. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess.* 2009; 26(11): 1495–500.
19. Alghuthaymi MA, Bahkali AH. Toxicogenic profiles and trinucleotide repeat diversity of *Fusarium* species isolated from banana fruits. *Biotechnol Biotechnol Equip.* 2015; 29(2): 324–330.
20. Tola M, Kebede B. Occurrence, importance and control of mycotoxins: a review. *Cogent Food Agric.* 2016; 2: 1191103.
21. Kumar D, Barad S, Sionov E, Keller NP, Prusky DB. Does the host contribute to modulation of mycotoxin production by fruit pathogens? *Toxins (Basel).* 2017; 12: 9(9).
22. Moretti A, Pascale M, Logrieco AF. Mycotoxin risks under a climate change scenario in Europe. *Trends Food Sci Tech.* 2019; 84: 38–40.
23. Dobosz B, Król K, Lar K, Mroczek A, Zbrojkiewicz E, Złotkowska R. Występowanie mikotoksyn w przetworach zbożowych znajdujących się w obrocie handlowym na terenie województwa śląskiego w latach 2013–2015. *Med Środow.* 2017; 20(1): 34–40.
24. Alkan N, Fortes AM. Insights into molecular and metabolic events associated with fruit response to post-harvest fungal pathogens. *Front. Plant Sci.* 2015; 6: 889.
25. Zain ME. Impact of mycotoxins on humans and animals. *J Saudi Chem Soc.* 2011; 15(2): 129–144.
26. Liew WP, Mohd-Redzwan S. Mycotoxin: Its impact on gut health and microbiota. *Front Cell Infect Microbiol.* 2018; 8: 60.
27. Bennett JW, Klich M. Mycotoxins. *Clin Microbiol Rev.* 2003; 16(3): 497–516.
28. Granados-Chinchilla F, Redondo-Solano M, Jaikel-Viquez D. Mycotoxin contamination of beverages obtained from tropical crops. *Beverages.* 2018; 4: 83.
29. Yeni F, Yavaş S, Alpas H, Soyer Y. Most common foodborne pathogens and mycotoxins on fresh produce: a review of recent outbreaks. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2016; 3; 56(9): 1532–44.
30. Liew WP, Mohd-Redzwan S. Mycotoxin: its impact on gut health and microbiota. *Front Cell Infect Microbiol.* 2018; 26, 8: 60.
31. Ratnaseelan AM, Tsilioni I, Theoharides TC. Effects of mycotoxins on neuropsychiatric symptoms and immune processes. *Clin Ther.* 2018; 40(6): 903–917.
32. Grenier B, Applegate TJ. Modulation of intestinal functions following mycotoxin ingestion: meta-analysis of published experiments in animals. *Toxins.* 2013; 5: 396–430.
33. Barabasz W, Pikulicka A. Mykotoksyny – zagrożenie dla zdrowia ludzi i zwierząt. Część 1. Mykotoksyny – charakterystyka, występowanie, toksyczność dla organizmów. *J Health Study Med.* 2017; 3: 65–108.
34. Kowalska A, Walkiewicz K, Kozielec P, Muc-Wierżgoń M. Aflatoxins: characteristics and impact on human health. *Postępy Hig Med Dośw.* 2017; 71: 315–327.
35. Kumar P, Mahato DK, Kamle M, Mohanta TK, Kang SG. Aflatoxins: a global concern for food safety, human health and their management. *Front Microbiol.* 2016; 7: 2170.
36. Bui-Klimke TR, Wu F. Ochratoxin A and human health risk: A review of the evidence. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2015; 55(13): 1860–1869.
37. Heussner AH, Bingle LEH. Comparative ochratoxin toxicity: a review of the available data. *Toxins (Basel)* 2015; 7(10): 4253–4282.
38. Pal S, Singh N, Ansari KM. Toxicological effects of patulin mycotoxin on the mammalian system: an overview. *Toxicol Res. (Camb)* 2017; 6(6): 764–771.
39. Escrivá L, Oueslati S, Font G, Manyes L. *Alternaria* mycotoxins in food and feed: an overview. *J Food Qual.* 2017; 1–20.
40. Omotayo OP, Omotayo AO, Mwanza M, Babalola OO. Prevalence of mycotoxins and their consequences on human health. *Toxicol Res.* 2019; 35(1): 1–7.