Chem. Listy *116*, 129−134 (2022) Referát

MYKOTOXIGENNÍ RODY MIKROMYCET KONTAMINUJÍCÍ POTRAVINY A KRMIVA

Markéta Kulišová a Irena Kolouchová

Ústav biotechnologie, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha 6
kulisovm@vscht.cz

Došlo 14.6.21, přijato 16.11.21.

Klíčová slova: mykotoxiny, mikromycety, kontaminace potravin

https://doi.org/10.54779/chl20220129

Obsah

1. Úvod
2. Mykotoxiny
3. Rod *Aspergillus*
   3.1. Aflatoxiny
   3.2. Ochratoxin A
4. Rod *Fusarium*
   4.1. Trichotheceny
   4.2. Fumonisiny
   4.3. Zearalenon
5. Rod *Penicillium*
   5.1. Patulin
6. Rod *Alternaria*
7. Závěr

1. Úvod

Mykotoxigenní druhy hub představují významné kontaminanty potravin a krmiv. Problémem není pouze snižování kvality daných komodit, ale rovněž potenciál komplikací se samotnou bezpečností potravin. Bezpečnost potravin je ohrožena zejména kvůli produkci mykotoxinů. Tyto fungální sekundární metabolity jsou strukturně velmi rozmanité a rovněž jejich účinky na spotřebitele jsou různorodé, od akutně toxických až po chronické. Některé houby jsou schopné produkovat více než jeden druh mykotoxinů a zároveň řada mykotoxinů je produkována více druhy hub. Mezi mykotoxiny, které významně ovlivňují bezpečnost potravin a způsobující celosvětové ekonomické ztráty, patří aflatoxiny, ochratoxiny, trichotheceny, fumonisiny, zearalenon, patulin a další. Producenty těchto sekundárních metabolitů jsou zejména druhy rodů *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium* a *Alternaria*[1–3].

2. Mykotoxiny

Mykotoxiny jsou skupinou sekundárních metabolitů produkovaných vláknitými houbami, které mohou kontaminovat potraviny, krmiva či suroviny použité k jejich výrobě[4]. Všechny mykotoxiny jsou nízkomolekulární přírodní produkty tvořící toxikologicky a chemicky zcela heterogenní skupinu. Působení těchto sekundárních metabolitů může vyvolat onemocnění a případnou smrt živočichů, což je hlavní faktor spojující jednotlivé zástupce[2,3]. Mykotoxiny je náročné klasifikovat vzhledem k jejich různorodým chemickým strukturám, biosyntetickému původu, biologickým účinkům a producentům. Nejčastěji uváděné je rozdělení podle orgánu, který ovlivňují (nefrotoxiny, hepatotoxiny, neurotoxiny atd.) či podle jejich účinku (karcinogeny, mutageny, teratogeny atd.)[5]. Stejně jako u všech toxinů, způsob expozice, dávka a doba působení toxinu determinují celkový účinek mykotoxinů[6].

Vzhledem k faktu, že vláknité houby jsou běžné a ubikvitní mikroorganismy, mykotoxiny jsou celosvětově rozšířeny. V řadě starších studií můžeme nalézt údaj, který odhaduje zhruba 25% kontaminaci všech zemědělských plodin. Tento odhad má pocházet původně ze strany Organizace pro výživu a zemědělství (FAO), ale i přes snahu získat podklady, jak se k tomuto odhadu konkrétně došlo, není tento údaj podložen řádnými studiemi. Eskola a spol.[7] pro upřesnění této hodnoty provedli analýzu zhruba 500 000 protokolů od Evropského úřadu pro bezpečnost potravin (EFSA) a řady dalších studií stanovující obsahy mykotoxinů v obilovinách. Na základě těchto podkladů bylo zjištěno, že se obsah mykotoxinů ve studovaných plodinách do značné míry liší v závislosti na sledovaných mykotoxinech či použitých analytických metodách, ale zdá se, že obsah mykotoxinů je až 60–80 %.

Produkce mykotoxinů je ovlivňována faktory prostředí, a tudíž se míra kontaminace bude lišit v závislosti na zeměpisné poloze, využitých metodách zemědělské činnosti a náchylnosti komodit k fungální kontaminaci během skladování a zpracování[8]. Kontaminace mykotoxiny byla zjištěna u obilovin, luštěnin, olejnatých semen, ale také u dalších komodit, včetně ovoce a zeleniny, které jsou bohaté na živiny a obsahují vysoký podíl vody, což jsou dva hlavní faktory ovlivňující fungální vývoj[9]. Přívodná cesta mykotoxinů do organismu je zprostředkována nejčastěji požitím kontaminovaných potravin, dermální kontaminací při kontaktu pokožky se substráty napadenými mikromycetami a kontaminací dýchacích cest inhalací spor. Po požití potravin kontaminovaných mykotoxiny se u lidí a zvířat vyskytují různé toxické účinky, včetně akutní a chronické toxicity, karcinogenity, mutagenity, teratogenity, imunosupresivních a estrogenních účinků[5]. Akutní toxicita je obvykle výsledkem krátkodobé expozice vysokým koncentracím mykotoxinů a je charakterizována náh-

lými příznaky, jako je bolest břicha, zvracení, průjem až selhání funkce jater a ledvin. Chronická toxicita může nastat při dlouhodobém vystavení nízkým dávkám mykotoxinů. Chronickým účinkem některých mykotoxinů je podíl na vyvolání rakoviny (zejména jater), cirhózy jater a dalších onemocnění[10,11]. Ze studií zabývajících se intoxikací aflatoxiny v Indii a Keni ve spojitosti s konzumací kukuřice lze odhadnout hranici příjmu celkových aflatoxinů vedoucí k riziku úmrtí dospělého člověka na >20 μg kg^{-1} tělesné hmotnosti/den (cit.[12]).

Nežádoucí účinky mykotoxinů se vyskytují již při velmi nízkých koncentracích. Z tohoto důvodu jsou mykotoxiny závažným problémem ohrožení veřejného zdraví. Celosvětově probíhá výzkum pro lepší pochopení jejich metabolismu, působení a tolerovatelného příjmu z potravy. Legislativa je v rámci EU regulována nařízeními Evropské komise, kde jsou stanoveny maximální hodnoty mykotoxinů v daných komoditách a výrobcích. Základním dokumentem je konsolidované Nařízení Komise (ES) č. 1881/2006, které stanovuje maximální limity mykotoxinů v potravinách (tab. I)[13]. Nařízení Komise (ES) č. 2073/2005 o mikrobiologických kritériích pro potraviny zahrnuje mimo jiné ustanovení o provádění vyšetření a odběru vzorků pro následnou analýzu[14]. Dále existuje řada nařízení týkající se analýzy vzorků či stanovení zvláštních podmínek dovozu některých potravin z určitých zemí v důsledku rizika kontaminace[15,16]. Pro ohlašování rizikových potravin a krmiv za účelem zamezení jejich uvedení do oběhu či za účelem stažení ze společného evropského trhu slouží systém RASFF (Rapid Alert System for Food and Feed)[17].

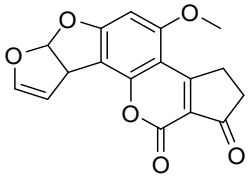
3. Rod *Aspergillus*

Rod *Aspergillus* je jedním z nejrozšířenějších organismů zahrnující v současné době přes 335 známých druhů[18]. Představuje jeden z ekonomicky nejvýznamnějších fungálních rodů díky produkci množství rozličných metabolitů. Z těchto metabolitů byla odvozena řada antibiotik, protinádorových a antifungálních látek. Druhy *Aspergillus* spp. se využívají v průmyslové výrobě sójové omáčky, miso, saké (*A. oryzae*, *A. sojae*), organických kyselin a enzymů (*A. niger*, *A. aculeatus*, *A. carbonarius*). Dva z nejdůležitějších průmyslových produktů produkovaných tímto rodem jsou amylasa a kyselina citronová[19]. Na druhou stranu, výskyt rodu *Aspergillus* je jednou z hlavních příčin kontaminace potravin a krmiv. Kromě toho jsou zejména druhy *A. niger*, *A. flavus* a *A. fumigatus* producenty mykotoxinů, které mohou vést ke vzniku mykotoxikóz u zvířat a lidské populace. Obecně jsou druhy rodu *Aspergillus* oportunní patogeny bez specializace na konkrétního hostitele a pouze omezený počet druhů je schopen napadnout živé tkáně[20]. Zemědělské produkty kontaminované tímto rodem se vyznačují změnami senzorické, nutriční a kvalitativní povahy, jako je pigmentace, změna barvy, hniloba a rozvoj pachů. Kromě těchto změn je řada patogenních a saprofytických druhů schopna produkce mykotoxinů, což je nejvýznamnější důsledek jejich přítomnosti na daných potravinách a krmivech[21].

Hlavní mykotoxiny produkované druhy rodu *Aspergillus* jsou aflatoxiny, ochratoxin A, fumonisiny, patulin, sterigmatocystin, kyselina cyklopiazonová, kyselina penicilinová, citrinin a další. Mezi nejvýznamnější patří aflatoxiny a ochratoxin A (cit.[21]).

3.1. Aflatoxiny

Aflatoxiny (AF) jsou sekundární metabolity odvozené od dekaketidu produkované komplexní biosyntetickou dráhou, která vede ke čtyřem různým metabolitům – aflatoxin B_1 (obr. 1), B_2, G_1, G_2. Ze všech dosud poznaných mykotoxinů patří aflatoxiny mezi nejtoxičtější[21]. Podle klasifikace karcinogenů Mezinárodní agentury pro výzkum rakoviny (IARC) patří AFB_1 do skupiny 1 (prokázaný karcinogen pro člověka)[22]. Tento aflatoxin působí u člověka karcinogenně a toxicky zejména na játra[21]. U zvířat může konzumace krmiv s obsahem aflatoxinů vést k chronické aflatoxikóze spojené s poklesem váhy a oslabením imunitního systému[23]. Pro lidské zdraví představují aflatoxiny riziko vzhledem k rozsáhlé kontaminaci zejména arašídů, ořechů, kukuřice, bavlny a sóji. Zbytky krmiv kontaminovaných aflatoxiny se mohou objevovat také v mléce. Nejdůležitější druhy produkující aflatoxiny patří do sekce *Flavi*, jedná se primárně o *A. flavus* a *A. parasiticus*[21].



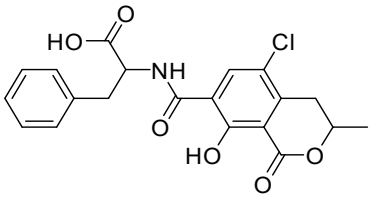
Obr. 1. **Chemická struktura aflatoxinu B_1**

3.2. Ochratoxin A

Ochratoxin A (OTA, obr. 2) je pentaketidový mykotoxin s nefrotoxickým a karcinogenním účinkem (skupina 2B dle IARC = možný karcinogen pro člověka)[22]. Četné studie na zvířatech ukázaly, že OTA je silným nefrotoxinem, kde stupeň poškození ledvin závisí na dávce toxinu a době expozice[21]. Mezi kontaminované plodiny a potraviny tímto mykotoxinem patří obiloviny a výrobky z nich, rozinky, káva, víno, hroznové šťávy, pivo a řada dalších. Skrz kontaminovaná krmiva pro zvířata se mohou zbytky OTA dostat také do jedlých drobů a krevního séra daných zvířat. Samotný obsah OTA v mase, mléku a vejcích je však zanedbatelný[24]. Ochratoxiny jsou produkovány v tropických částech světa převážně druhy rodu *Aspergillus*, zatímco řada druhů rodu *Penicillium* je odpovědná za produkci OTA v chladnějším mírném podnebí. Ekonomicky nejdůležitější producenti OTA patří do sekcí *Circumdati* a *Nigri* rodu *Aspergillus*[21].

Tabulka I
Maximální limity mykotoxinů ve vybraných potravinách v Evropské Unii podle Nařízení Komise (ES) č. 1881/2006 (přepracováno podle cit.[13])

	Potraviny	Maximální limity [μg/kg]	
		B1	suma B1, B2, G1, G2
1.1	**Aflatoxiny**		
1.1.1	Jádra podzemnice olejné, jež mají být před použitím k lidské spotřebě či jako potravinová složka tříděna nebo jinak fyzikálně ošetřena	8,0	15,0
1.1.2	Skořápkové plody, jež mají být před použitím k lidské spotřebě či jako potravinová složka tříděny nebo jinak fyzikálně ošetřeny	5,0	10,0
1.1.3	Jádra podzemnice olejné, skořápkové plody a zpracované výrobky z nich určené k přímé lidské spotřebě nebo pro použití jako potravinová složka	2,0	4,0
1.1.4	Kukuřice, jež má být před použitím k lidské spotřebě či jako potravinová složka tříděna nebo jinak fyzikálně ošetřena	5,0	10,0
1.2	**Ochratoxin A**		
1.2.1	Nezpracované obiloviny		5,0
1.2.2	Všechny produkty pocházející z nezpracovaných obilovin, včetně zpracovaných výrobků z obilovin a obilovin určených k přímé lidské spotřebě kromě potravin uvedených v 1.2.3 a 1.2.4		3,0
1.2.3	Obilné příkrmy a ostatní příkrmy určené pro kojence a malé děti		0,50
1.2.4	Dietní potraviny pro zvláštní léčebné účely určené speciálně pro kojence		0,50
1.2.5	Sušené hrozny révy vinné (korintky, rozinky a sultánky)		10,0
1.3	**Patulin**		
1.3.1	Lihoviny, jablečné víno a jiné fermentované nápoje získané z jablek nebo obsahujících jablečnou šťávu		50
1.3.2	Pevné výrobky z jablek, včetně jablečného kompotu a jablečného pyré určené k přímé lidské spotřebě kromě potravin uvedených v 1.3.3 a 1.3.4		25
1.3.3	Jablečná šťáva a pevné výrobky z jablek, včetně jablečného kompotu a jablečného pyré, pro kojence a malé děti, takto označené a prodávané		10,0
1.3.4	Jiné než obilné příkrmy pro kojence a malé děti		10,0
1.4	**Deoxynivalenol**		
1.4.1	Nezpracované obiloviny jiné než pšenice tvrdá, oves a kukuřice		1250
1.4.2	Nezpracovaná pšenice tvrdá, oves a kukuřice		1750
1.4.3	Obiloviny určené k přímé lidské spotřebě, obilná mouka (včetně kukuřičné mouky, kukuřičné krupičky a kukuřičné krupice), otruby ve formě konečného výrobku uváděného na trh pro přímou lidskou spotřebu a klíčky kromě potravin uvedených v 1.4.4		750
1.4.4	Obilné příkrmy a ostatní příkrmy určené pro kojence a malé děti		200
1.5	**Zearalenon**		
1.5.1	Nezpracované obiloviny jiné než kukuřice		100
1.5.2	Nezpracovaná kukuřice		200
1.5.3	Obiloviny určené k přímé lidské spotřebě, obilná mouka, otruby ve formě konečného výrobku uváděného na trh pro přímou lidskou spotřebu a klíčky kromě potravin uvedených v 1.5.4, 1.5.5 a 1.5.6		75
1.5.4	Kukuřice určená k přímé lidské spotřebě, kukuřičná mouka, kukuřičná krupička, kukuřičná krupice, kukuřičné klíčky a rafinovaný kukuřičný olej		200
1.5.5	Obilné příkrmy (kromě kukuřičných příkrmů) a ostatní příkrmy určené pro kojence a malé děti		20
1.5.6	Kukuřičné příkrmy pro kojence a malé děti		20
1.6	**Fumonisiny**		
1.6.1	Nezpracovaná kukuřice		2000
1.6.2	Kukuřičná mouka, kukuřičná krupička, kukuřičná krupice, kukuřičné klíčky a rafinovaný kukuřičný olej		1000
1.6.3	Kukuřičné potraviny k přímé spotřebě kromě potravin uvedených v 1.6.2 a 1.6.4		400
1.6.4	Kukuřičné příkrmy a ostatní příkrmy určené pro kojence a malé děti		200



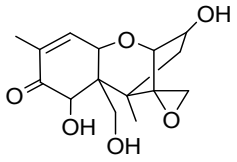
Obr. 2. **Chemická struktura ochratoxinu A**

4. Rod *Fusarium*

Fusarium je rodem rostlinných patogenních hub, z nichž zhruba jedna sedmina produkuje důležité mykotoxiny[25]. Největší ekonomický dopad souvisí s deoxynivalenolem (DON, obr. 3) a jeho deriváty. Pouze aflatoxiny produkované *Aspergillus* spp. mají větší vliv na trh s potravinářskými komoditami a zdraví živočichů než DON (cit.[26]). DON patří do skupiny trichothecenů, které jsou s fumonisiny a zearalenonem nejvýznamnějšími mykotoxiny produkovanými tímto rodem. Nejčastější výskyt fusariových mykotoxinů je v pšenici a kukuřici, mohou se však vyskytovat ve všech obilninách, chřestu, fících, pícninách, luštěninách, koření, ořeších (pistácie)[27,28]. Významná je kontaminace fusariovými mykotoxiny rovněž během procesu výroby piva[29]. V důsledku kontaminace plodin se mykotoxiny mohou objevovat i v krmivech pro zvířata, což může negativně ovlivňovat jejich kondici[30]. V USA v poslední době rostou obavy z obsahu fusariových mykotoxinů ve vedlejších produktech výroby ethanolu z kukuřice. Tyto produkty (nejčastěji výpalky z destilace) se z 90 % využívají právě jako krmiva zvířat a v porovnání s obilím je v nich až třikrát vyšší koncentrace mykotoxinů[31].

4.1. Trichotheceny

Z fusariových mykotoxinů jsou nejčastěji s lidskými toxikózami a zdravotními problémy hospodářských zvířat spojovány trichotheceny. Strukturně jsou to seskviterpenoidní sloučeniny s tricyklickým kruhem, který lze substituovat v několika polohách. Trichothecenů je více než 200, rozdělených do čtyř skupin (A, B, C, D) na základě substitucí jejich struktury. Trichotheceny produkované *Fusarium* spp. jsou typu A a B, typ B je obvykle produkován ve vyšších množstvích, ale je méně toxický[32]. T-2 toxin vykazuje u zvířat nejvyšší akutní toxicitu. Toxicita trichothecenů je obecně zprostředkována prostřednictvím několika mechanismů, včetně inhibice syntézy ribozomálních proteinů, biosyntézy DNA a RNA a funkce mitochondrií[33]. Expozice člověka těmto metabolitům ve stravě je spojena s nevolností, průjmem, bolestmi břicha a horečkou[34]. Hlavními producenty trichothecenů z rodu *Fusarium* jsou *F. armeniacum*, *F. poae*, *F. graminearum*, *F. culmorum*[35].



Obr. 3. **Chemická struktura deoxynivalenolu**

4.2. Fumonisiny

Fumonisiny, polyketidové mykotoxiny, jsou nejčastějšími toxiny nalezenými v kukuřici. Producenty těchto metabolitů jsou druhy *Fusarium verticillioides*, *Fusarium proliferatum* a další druhy rodu *Fusarium*, i když menší množství fumonisinu B_2 produkuje sekce *Nigri* rodu *Aspergillus*[35,36]. Skupina fumonisinů se skládá ze sloučenin řady A, B, C a P, z nichž nejčastější jsou B_1, B_2, B_3 (cit.[37]). Fumonisiny mají toxické a karcinogenní účinky na zvířata a člověka. Podle klasifikace karcinogenů IARC patří fumonisin B_1 a B_2 do skupiny 2B (cit.[22]). Toxicita fumonisinů spočívá v jejich interakci s biosyntézou lipidů. Konkrétně inhibují ceramidsyntasu, což ústí v narušení syntézy ceramidu a sfingolipidového metabolismu. Akumulace volného sfinganinu může vést k poškození jater a ledvin[35].

4.3. Zearalenon

Zearalenon a jemu příbuzné sloučeniny jsou estrogenní mykotoxiny s nízkou akutní toxicitou, které nezpůsobují smrtelné toxikózy. Tyto látky jsou však spojovány s významnými reprodukčními abnormalitami zvířat (zejména prasat)[38]. Producenty zearalenonu je mnoho shodných mikromycet, které produkují DON a nivalenol, díky tomu se často vyskytují tyto tři mykotoxiny společně. *Fusarium graminearum* je jejich nejvýznamnějším producentem[39]. Estrogenní účinky zearalenonu a jeho derivátů mohou vést k reprodukčním abnormalitám, jako jsou zvětšené mléčné žlázy a genitálie, atrofie vaječníků a varlat, neplodnost či snížená hmotnost potomků. Prasata jsou nejcitlivějšími druhy hospodářských zvířat na působení těchto mykotoxinů, konkrétně zearalenon byl objeven v souvislosti s vypuknutím estrogenního syndromu u prasat[40,41].

5. Rod *Penicillium*

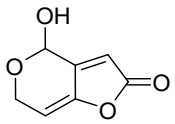
Penicillium spp. je běžným fungálním rodem vyskytujícím se po celém světě v půdě, vegetaci, vzduchu či potravinářských výrobcích. Tento rod je obecně známý zejména díky produkci penicilinu, která způsobila převrat v léčbě bakteriálních onemocnění. Druhy rodu *Penicillium* hrají důležitou roli ve výrobě sýrů typu camembert a roquefort, uzenin, rozkladu organických materiálů, hnilobě plodin a produkci různorodé škály mykotoxinů. Mezi hlavní a nejvíce škodlivé mykotoxiny produkované *Penicillium* spp. patří ochratoxin A a patulin. Dále jsou některé

druhy producenty citrininu, kyseliny penicilové, citreoviridinu a dalších[42].

Ochratoxin A (obr. 2) je u rodu *Penicillium* produkován primárně druhy *P. verrucosum* a *P. nordicum*. *P. verrucosum* kontaminuje zejména skladované obiloviny, zatímco *P. nordicum* je hlavním producentem OTA v masných výrobcích (salámy, šunky). Oba druhy byly nalezeny také v sýrech[43].

5.1. Patulin

Patulin (obr. 4), genotoxický mykotoxin produkovaný několika druhy rodů *Penicillium*, *Aspergillus* a *Byssochlamys*, je nejčastějším toxinem v jablkách a produktech z nich. Kontaminuje rovněž další ovoce, jako je hroznové víno, pomeranče, hrušky a broskve. Mezi buněčné účinky patulinu patří tvorba reaktivních forem kyslíku, přerušení buněčného cyklu a uvolňování cytochromu c z mitochondrií. Způsobuje poškození DNA a je mutagenní a teratogenní. *Penicillium expansum* je nejdůležitějším zdrojem patulinu a hlavním původcem kažení jablek a hrušek. Kmeny tohoto druhu produkující patulin byly izolovány také z meruněk, moruší, třešní, kiwi, nektarinek, švestek, brusinek a jahod. Vzhledem k vysokému obsahu patulinu ve výrobcích z jablek byly Evropskou Komisí stanoveny maximální limity patulinu v těchto výrobcích[44].



Obr. 4. **Chemická struktura patulinu**

6. Rod *Alternaria*

Mikromycety rodu *Alternaria* jsou všudypřítomné patogeny a saprofyty, vyznačující se produkcí hnědých přehrádkovaných makrokonidií. Většina druhů tohoto rodu má ve svých buněčných stěnách a sporách obsažen vysoký podíl melaninu. Melanin chrání daný mikroorganismus před účinky UV záření a zvyšuje celkovou rezistenci vůči environmentálním faktorům[45]. Vzhledem k jejich kosmopolitnímu výskytu a schopnosti růstu a produkce toxinů i za nepříznivých podmínek (nízké teploty) jsou druhy rodu *Alternaria* častou příčinou kontaminace plodin při přepravě a skladování v chladu[46].

Alternaria alternata je nejhojnějším z více než čtyřiceti druhů rodu *Alternaria*. Optimální růst tohoto druhu nastává při 25 °C a pH 4–5,4. Minimální růstová teplota je uváděna kolem –5 °C, což potvrzuje schopnost růstu při skladování v chladu[47]. *Alternaria alternata* produkuje významné mykotoxiny – alternariol, alternariol monomethylether, altenuen, kyselina tenuazonová, altertoxiny I, II, III. Kyselina tenuazonová je toxická pro řadu zvířecích druhů (myši, kuřata, psi). Alternariol, alternariol monomethylether, altenuen a altertoxiny nevykazují přílišnou akutní toxicitu. U alternariolu a alternariol monomethyletheru byly prokázány mutagenní a genotoxické účinky. Alternariol se váže na topoisomerasu I a II, což pravděpodobně přispívá k narušení integrity DNA v buňkách savců[48].

Velké množství alternariových metabolitů se přirozeně vyskytuje v potravinářských komoditách (ovoce, zelenina, obiloviny, olejniny). Alternariol, alternariol monomethylether a kyselina tenuazonová byly často zjištěny u jablek, mandarinek, oliv, pepře, červené papriky, rajčat, řepkového šrotu, slunečnicových semen, čiroku, pšenice, olivového oleje a výrobků z jablek a rajčat. Samotný alternariol se vyskytoval v řadě džusů (jablečný, brusinkový, hroznový, švestkový, malinový), v červeném víně a čočce[46,49].

7. Závěr

Mezi nově se objevujícími otázkami bezpečnosti potravin má zásadní význam nárůst výskytu kontaminujících mikromycet a jejich sekundárních metabolitů mykotoxinů. Samotná fungální kontaminace znamená vysoké ekonomické ztráty, pokud se jedná o kontaminaci druhy, které produkují mykotoxiny, je zde navíc potenciál ohrožení zdraví lidské populace a zvířat. Mezi fungální rody tvořící významné mykotoxiny patří *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Alternaria* a další. Jejich výskyt v daných komoditách musí být pečlivě sledován a maximální hodnoty kontaminace těmito látkami striktně regulovány.

Tento výstup vznikl v rámci projektu Specifického vysokoškolského výzkumu – projekt č. A2_FPBT_2021_014.

LITERATURA

1. Rico-Munoz E., Samson R. A., Houbraken J.: Food Microbiol. *81*, 51 (2019).
2. Zain M. E.: J. Saudi Chemical Society *15*, 129 (2011).
3. Fung F., Clark R. F.: J. Toxicol.: Clin. Toxicol. *42*, 217 (2004).
4. Ashiq S.: Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. *14*, 159 (2015).
5. Bennett J. W., Klich M.: Clinical Microbiol. Rev. *16*, 497 (2003).
6. Bennett J., Klich M., Moselio S., v knize: *Mycotoxins*, str. 559. Academic Press, Oxford 2009.
7. Eskola M., Kos G., Elliott C. T., Hajšlová J., Mayar S., Krska R.: Crit. Rev. Food Sci. Nutr. *60*, 2773 (2020).
8. Sanchis V., Magan N., v knize: *Mycotoxins in food: Detection and control*, str. 174. CRC Press, Boca Raton 2004.
9. Oancea S., Stoia M.: Universitatis Cibiensis Series E *7*, 19 (2008).
10. Cinar A., Onbaşı E.: *Mycotoxins and food safety*. IntechOpen, London 2019.
11. Mekuria A. N., Routledge M. N., Gong Y. Y., Sisay M.: BMC Pharmacol. Toxicol. *21*, 1 (2020).

12. Wild C. P., Gong Y. Y.: Carcinogenesis *31*, 71 (2010).
13. EC: Úřední věstník Evropské unie 5 (2006).
14. EC: Úřední věstník Evropské unie 1 (2005).
15. EC: Úřední věstník Evropské unie 1 (2009).
16. EC: Úřední věstník Evropské unie 1 (2006).
17. Kowalska A., Manning L.: Crit. Rev. Food Sci. Nutr. *61*, 906 (2021).
18. Gautier M., Normand A.-C., Ranque S.: Clin. Microbiol. Infect. *22*, 662 (2016).
19. Park H.-S., Jun S.-C., Han K.-H., Hong S.-B., Yu J.-H.: Adv. Appl. Microbiol. *100*, 161 (2017).
20. Liu D.: *Molecular detection of foodborne pathogens*. CRC press, Boca Raton 2009.
21. Perrone G., Gallo A., v knize: *Mycotoxigenic fungi* (Moretti A., Susca A., ed.), str. 33 Springer, Berlin 2017.
22. Claeys L., Romano C., De Ruyck K., Wilson H., Fervers B., Korenjak M., Zavadil J., Gunter M. J., De Saeger S., De Boevre M.: Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. *19*, 1449 (2020).
23. Miller D. M., Wilson D. M., v knize: *The toxicology of aflatoxins*, str. 347. Elsevier, Amsterdam 1994.
24. EFSA: EFSA Journal *4*, 365 (2006).
25. Moss M. O., Thrane U.: Toxicol. Lett. *153*, 23 (2004).
26. Desjardins A. E.: *Fusarium mycotoxins: chemistry, genetics, and biology*. American Phytopathological Society (APS Press), St. Paul 2006.
27. Heraud F., Arcella D., Curtui V., Durand L., Kriulina N., Varga E.: EFSA Journal *11*, (2013).
28. Waśkiewicz A., Beszterda M., Goliński P.: Food Control *26*, 491 (2012).
29. Wolf-Hall C. E., Schwarz P. B.: Mycotoxins and Food Safety *504*, 217 (2002).
30. Yiannikouris A., Jouany J.-P.: Animal Research *51*, 81 (2002).
31. Wu F., Munkvold G. P.: J. Agric. Food Chem. *56*, 3900 (2008).
32. McCormick S. P., Stanley A. M., Stover N. A., Alexander N. J.: Toxins *3*, 802 (2011).
33. Rocha O., Ansari K., Doohan F.: Food Addit. Contam. *22*, 369 (2005).
34. Pestka J. J.: Arch. Toxicol. *84*, 663 (2010).
35. Munkvold G. P., v knize: *Mycotoxigenic fungi* (Moretti A., Susca A., ed.), str. 51. Springer, Berlin 2017.
36. Kamle M., Mahato D. K., Devi S., Lee K. E., Kang S. G., Kumar P.: Toxins *11*, 328 (2019).
37. Susca A., Moretti A., Stea G., Villani A., Haidukowski M., Logrieco A., Munkvold G.: Int. J. Food Microbiol. *188*, 75 (2014).
38. Zinedine A., Soriano J. M., Molto J. C., Manes J.: Food Chem. Toxicol. *45*, 1 (2007).
39. Calori-Domingues M. A., Bernardi C. M. G., Nardin M. S., de Souza G. V., Dos Santos F. G. R., Stein M. d. A., Gloria E. M. d., Dias C. T. d. S., de Camargo A. C.: Food Addit. Contam., Part B *9*, 142 (2016).
40. Marasas W. F. O., Nelson P. E., Toussoun T.: *Toxigenic Fusarium species. Identity and mycotoxicology*. Pennsylvania State University, State College 1984.
41. Ropejko K., Twarużek M.: Toxins *13*, 35 (2021).
42. Perrone G., Susca A., v knize: *Mycotoxigenic fungi* (Moretti A., Susca A., ed.), str. 107. Springer, Berlin 2017.
43. Larsen T. O., Svendsen A., Smedsgaard J.: Appl. Environ. Microbiol. *67*, 3630 (2001).
44. Reddy K., Spadaro D., Lore A., Gullino M. L., Garibaldi A.: Mycotoxin Res. *26*, 257 (2010).
45. Thomma B. P.: Mol. Plant Pathol. *4*, 225 (2003).
46. Ostry V.: World Mycotoxin J. *1*, 175 (2008).
47. Pitt J. I., Hocking A. D.: *Fungi and food spoilage*. Springer, Berlin 2009.
48. Liu G., Qian Y., Zhang P., Dong Z., Shi Z., Zhen Y., Miao J., Xu Y.: IARC Sci. Publ. *105*, 258 (1991).
49. Scott P. M.: J. AOAC Int. *84*, 1809 (2001).

M. Kulišová and I. Kolouchová *(Department of Biotechnology, University of Chemistry and Technology, Prague):* **Mycotoxigenic Genera of Micromycetes Contaminating Food and Feed**

Mycotoxins and their impact on human health, food safety and significant economic losses have recently been a discussed problem. The most important of these secondary metabolites produced by filamentous fungi include aflatoxins, ochratoxin A, *Fusarium* mycotoxins, patulin and others. Mycotoxigenic fungi are cosmopolitan microorganisms and therefore thorough sanitation and control of limits of mycotoxins in all steps of food production and storage is crucial.

Keywords: mycotoxins, filamentous fungi, food contamination

● Kulišová M., Kolouchová I.: Chem. Listy *116*, 129–134 (2022).
● https://doi.org/10.54779/chl20220129

Acknowledgements
This work was supported from the grant of Specific university research – grant No. A2_FPBT_2021_014.