

**Mendelova univerzita v Brně**  
**Agronomická fakulta**  
**Ústav technologie potravin**

---



Agronomická  
fakulta

Mendelova  
univerzita  
v Brně



**Chemické kontaminanty v potravinách – mykotoxiny**

Bakalářská práce

*Vedoucí práce:*

MVDr. Olga Cwиковá, Ph.D.

*Vypracovala:*

Dominika Siudová

---

Brno 2015

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: Chemické kontaminanty v potravinách – mykotoxiny vypracovala samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědoma, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:.....

.....  
podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Ráda bych na tomto místě poděkovala především vedoucí své bakalářské práce MVDr. Olze Cwиковé, Ph.D. za její čas a dobře míněné rady a připomínky při zpracovávání bakalářské práce. Dále bych také chtěla poděkovat své rodině za finanční a morální podporu během mého studia na vysoké škole.

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce na téma Chemické kontaminanty v potravinách – mykotoxiny se zabývá sekundárními metabolity vláknitých mikromycetů, tzv. mykotoxinů. V první části se zabývá jednotlivými druhy vláknitých mikromycetů, jejich výskytem a popisem. Druhá část mykotoxiny charakterizuje, obecně popisuje a rozděluje podle různých kritérií. Věnuje se faktorům, které mohou ovlivňovat jejich výskyt v potravinách, a také si všímá biologických účinků mykotoxinů na člověka. Následovně se soustředí na jednotlivé mykotoxiny, a to aflatoxiny, ochratoxin A, patulin, deoxynivalenol atd. U nich se zaměřuje na jejich výskyt v potravinách, účinky na zdraví a legislativní limity pro jejich výskyt v potravinách. Další část práce pojednává o metodách prevence vzniku a výskytu mykotoxinů. Poslední část se věnuje možnostem jejich dekontaminace z potravin.

Klíčová slova: vláknité mikromycety, mykotoxiny, potraviny, legislativní limity, prevence

## **ABSTRACT**

The bachelor thesis *Chemical contaminants in food – mycotoxins* concerns the secondary metabolites of filamentous micromycetes so-called mycotoxins. The first part of the thesis deals with the different types of filamentous micromycetes, their occurrence and their description. The second part characterizes mycotoxins, describes them in general and classifies them according to several criteria. It focuses on various factors which can influence their presence in foodstuff, and besides that, pays attention to their impact on humans' health. Subsequently, it concentrates on individual mycotoxins such as aflatoxins, ochratoxin A, patulin, deoxynivalenol etc. and their presence in food, impact on health and legislative limits. The next part of the thesis introduces the methods for preventing the formation and occurrence of mycotoxins. The last part deals with different procedures of decontamination of mycotoxin-containing food.

Key words: filamentous micromycetes, mycotoxins, food, legislative limits, prevention

# OBSAH

1	ÚVOD.....	8
2	CÍL.....	9
3	LITERÁRNÍ PŘEHLED .....	10
<b>3.1</b>	<b>Vláknité mikromycety .....</b>	<b>10</b>
3.1.1	Obecná charakteristika.....	10
<b>3.2</b>	<b>Přehled významných vláknitých mikromycetů .....</b>	<b>11</b>
3.2.1	Třída Zygomycetes.....	11
3.2.1.1	Rod <i>Mucor</i> .....	12
3.2.1.2	Rod <i>Rhizopus</i> .....	12
3.2.2	Třída Ascomycetes a mikromycety s neznámým pohlavním rozmnožováním... 12	
3.2.2.1	Rod <i>Alternaria</i> .....	12
3.2.2.2	Rod <i>Aspergillus</i> .....	13
3.2.2.3	Rod <i>Cladosporium</i> .....	14
3.2.2.4	Rod <i>Claviceps</i> .....	15
3.2.2.5	Rod <i>Fusarium</i> .....	15
3.2.2.6	Rod <i>Penicillium</i> .....	16
3.2.2.7	Rod <i>Stachybotrys</i> .....	17
<b>3.3</b>	<b>Mykotoxiny .....</b>	<b>18</b>
3.3.1	Obecná charakteristika .....	18
3.3.2	Rozdělení mykotoxinů .....	20
3.3.3	Faktory ovlivňující výskyt mykotoxinů v potravinách .....	22
3.3.4	Biologické účinky mykotoxinů .....	24
3.3.4.1	<i>Toxicita mykotoxinů</i> .....	24
3.3.4.2	<i>Akutní a chronické toxické účinky</i> .....	25
3.3.4.3	<i>Pozdní toxické účinky</i> .....	26
3.3.5	Charakteristika významných mykotoxinů.....	26
3.3.5.1	<i>Aflatoxiny</i> .....	26
3.3.5.2	<i>Ochratoxin A</i> .....	29
3.3.5.3	<i>Patulin</i> .....	31
3.3.5.4	<i>Fumonisin</i> .....	32
3.3.5.5	<i>Deoxynivalenol</i> .....	33
3.3.5.6	<i>Zearalenon</i> .....	34
3.3.5.7	<i>Sterigmatocystin</i> .....	36

3.3.5.8	<i>T-2 toxin</i> .....	37
3.3.5.9	<i>Alternáριοvé mykotoxiny</i> .....	38
3.3.5.10	<i>Kyselina cyklopiazonová</i> .....	38
<b>3.4</b>	<b>Prevence vzniku a výskytu mykotoxinů v potravinách</b> .....	<b>39</b>
<b>3.5</b>	<b>Detoxikace a dekontaminace</b> .....	<b>40</b>
4	ZÁVĚR .....	43
5	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	46
6	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	52
7	SEZNAM TABULEK .....	53

# 1 ÚVOD

Vláknité mikromycety (plísně) jsou organismy, které jsou ubikvitárně rozšířeny po celém světě a vyskytují se především v půdě, jako součást půdní biocenózy, kde působí především jako reducenti, čímž se podílí na koloběhu látek a energie v přírodě. Právě proto, při nevhodných podmínkách a nepříznivém počasí, často napadají plodiny pěstované na polích a další rostlinný materiál. Plísně můžeme podle jejich výskytu rozdělit na plísně polní (*Fusarium*), skladištní (*Aspergillus*) a polní i skladištní (*Penicillium*). Jejich rozmnožování probíhá pomocí spor, které se šíří vzduchem. Tyto spory mohou kontaminovat potraviny během celého výrobního procesu. Některé vláknité mikromycety mohou také parazitovat na lidech a zvířatech, a také způsobovat různá onemocnění, tzv. mykotoxikózy. Nemůžeme však říct, že mají na člověka jen negativní efekt, protože některé plísně se člověk naučil používat ke svému užitku, např. pro výrobu antibiotik, v různých biotechnologiích pro tvorbu enzymů a kyselin a také v potravinářském průmyslu pro výrobu různých plísňových sýrů.

Největší nebezpečí, pramenící z napadení potravin plísněmi, představuje tvorba sekundárních metabolitů, tzv. mykotoxinů. Mykotoxiny patří do skupiny chemických kontaminantů potravin a vyznačují se vysokou toxicitou, nízkou molekulovou hmotností a také vysokou stabilitou při běžných technologických opracováních potravin. Tvorba mykotoxinů závisí na množství jak fyzikálních a chemických, tak i biologických faktorů, jako je, např. vlhkost, teplota, pH, přítomnost kyslíku, poškození celistvosti plodiny a napadení hmyzem, popřípadě výskyt konkurenčních plísní.

Existuje více než 300 druhů mykotoxinů, z toho je jich 65 toxických pro člověka. Vykazují karcinogenní, imunosupresivní, mutagenní a teratogenní účinky, a také mohou vyvolávat alergické reakce. Mezi nejznámější patří aflatoxiny, ochratoxin A, deoxynivalenol, zearalenon a patulin. K potravinám, které bývají nejčastěji kontaminovány mykotoxiny, můžeme zařadit obiloviny, ovoce a zeleninu a další plodiny. Vyskytují se také v živočišných produktech, do kterých se dostávají dvěma způsoby: přímo, kontaminací plísněmi a nepřímo, zkrmováním zaplísňených krmiv.

Z důvodů časté kontaminace potravin a vysoké toxicity mykotoxinů stanovilo nařízení Komise (ES) č. 1881/2006 maximální limity pro množství mykotoxinů, které se mohou v určitých potravinách vyskytovat.



## 2 CÍL

Cílem mé bakalářské práce bylo prostudovat literaturu týkající se problematiky mykotoxinů a zaměřit se nejen na jejich přehled, charakteristiku, toxikologické zhodnocení, výskyt v potravinách a surovinách, ale také popsat jejich toxické účinky na organismus člověka. Dále prostudovat dostupnou legislativu a příslušné maximální limity začlenit do práce. Na základě těchto informací vyvodit preventivní opatření pro zamezení vzniku mykotoxinů v surovinách a potravinách a následně popsat možnosti dekontaminace ploch.

## 3 LITERÁRNÍ PŘEHLED

### 3.1 Vlákňité mikromycety

#### 3.1.1 Obecná charakteristika

Mikromycety čili mikroskopické houby jsou nedílnou složkou životního a pracovního prostředí člověka. Lidé se je naučili využívat nejen pro produkci nejrůznějších typů potravin, např. mléčných výrobků a alkoholických nápojů, ale také k tvorbě organických látek, jako jsou enzymy, kyseliny, vitaminy a antibiotika (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003).

Mezi pozitivní vliv mikromycet v životním prostředí patří symbióza s jinými organismy, tzv. mykorhiza, výroba léků, organických kyselin a enzymů (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003). Podle Kalhotky (2014) mohou mít mikroskopické houby negativní vliv nejen na zdraví člověka v podobě mykotických onemocnění (mykóz, mykotoxikací, mycetismů a mykoalergií), ale také znehodnocují potraviny produkcí mykotoxinů, a také mohou působit biokorozi a degradaci surovin.

Mikromycety jsou ubikvitární organismy, které náleží k velmi prastarým organismům, řadí se do říše hub (*Fungi*). Dělíme je na vlákňité mikromycety, kvasinky a kvasinkové mikroorganismy (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003).

Vlákňité mikromycety jsou vícebuněčné, heterotrofní, saprofytické nebo parazitické mikroorganismy, které se označují také jako plísňe (WASSERBAUEROVÁ, 2011). Patří mezi eukaryotní organismy, a proto jejich buňka má obdobnou stavbu jako buňka ostatních eukaryot (KALHOTKA, 2014). Typické pro buněčnou stěnu plísni je její složení. Skládá se především z polysacharidů jako je chitin a chitosan, ale také dalších látek, např. glukanů, manózy, celulózy, látek podobných ligninu a vosků. Buněčná stěna spor obsahuje také různá barviva, která mají nápadnou barvu, nejčastěji je to však modrozelená a zelená barva nebo také černá, hnědá a růžová (ŠILHÁNKOVÁ, 2002).

Základní stavební jednotkou vlákňitých mikromycet je vlákno, tzv. hyfa (KALHOTKA, 2014). Hyfa může být jednobuněčná, ceonocytická typická pro *Zygomyceta*, nebo vícebuněčná, septovaná typická pro *Ascomyceta* a mitosporické houby, což znamená, že je rozdělená pomocí přehrádek a podle jejich typu lze určit

jednotlivá oddělení hub. Hyfy se splétají a vytváří mycelium, tzv. podhoubí (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003). Rozlišujeme dva různé typy mycelií, mycelium substrátové, které vyživuje celý organismus a prorůstá substrátem a mycelium vzdušné, které roste nad substrátem (VLKOVÁ a RADA a KILLER, 2009). Existují také specializované hyfy, které se nazývají sporofory. Zde se vytváří výtrusy (spory), které slouží k rozmnožování a šíření hub. Spory lze dělit podle vzniku na meiospory (pohlavní) a mitospory (nepohlavní), nebo podle místa vzniku na endospory, vznikající uvnitř, a exospory, vznikající vně specializovaných buněk (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003). Spory se přenášejí vzduchem i vodou a mohou se vyskytovat na povrchu živých i odumřelých organismů a také různých dalších předmětů (WASSERBAUEROVÁ, 2011).

Podle způsobu rozmnožování můžeme technicky důležité plísně rozdělit do tří skupin. Oddělení *Zygomycota* zahrnuje houby s jednobuněčným myceliem a pohlavním rozmnožováním pomocí zygospor, nepohlavní rozmnožování se uskutečňuje endosporami. K oddělení *Ascomycota* řadíme houby s přehrádkovým myceliem, pohlavním rozmnožováním prostřednictvím askospor, nepohlavní rozmnožování nastává exosporami. Do oddělení *Deuteromycota* zařazujeme, tzv. houby nedokonale známé, které se rozmnožují nepohlavně pomocí exospor a mají přehrádkované mycelium (ŠILHÁNKOVÁ, 2002).

## **3.2 Přehled významných vláknitých mikromycetů**

### **3.2.1 Třída Zygomycetes**

Třída *Zygomycetes* – houby spájkivé zahrnuje přibližně 870 druhů. Tyto houby jsou suchozemské a saprofytní, což znamená, že se živí na tlejících organických zbytcích a substrátech bohatých na cukry a podílejí se na tvorbě půdy (KALHOTKA, 2014). Největší význam mají řády *Mucorales* a *Entomophthorales*. *Mucorales* jsou ubikvitárně rozšířeny v prostředí, především v půdě. Některé druhy se přizpůsobily parazitickému způsobu života (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003).

Pohlavní rozmnožování probíhá tvorbou diploidního stádia, tzv. zygospory, která je uzavřena v zygosporangiu. Ta se následně meioticky dělí a klíčí v útvar zvaný sporangiofor, na kterém probíhá nepohlavní rozmnožování a tvoří se zde sporangiospory. Někteří zástupci jsou termofilní a jsou schopni růst i při teplotách okolo

50 °C (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003). Některé druhy patří mezi lidské parazity a způsobují mukormykózy, což jsou velmi závažná onemocnění s vysokou mortalitou. Nejčastějším původcem tohoto onemocnění je druh *Rhizopus oryzae*. Mezi nejvýznamnější zástupce patří rod *Mucor* a rod *Rhizopus* (KALHOTKA, 2014).

### **3.2.1.1 Rod *Mucor***

Pojímá přes 100 druhů, které vytváří na potravinách, jako je chléb, máslo, zelenina, ovoce a maso, bělavý porost různého tvaru s nahnědlými sporangii. Některé druhy produkují proteolytické nebo amylolytické enzymy, jiné jsou patogenní nebo produkují mykotoxiny. *Mucor javanicus* a *Mucor rouxii* zkvašují sacharidy, a proto se v Japonsku a Číně používají za účelem výroby alkoholických nápojů ze sóji (ŠILHÁNKOVÁ, 2002).

### **3.2.1.2 Rod *Rhizopus***

Zahrnuje druhy, které se podílejí na kažení ovoce a jiných potravin. Některé druhy mohou být patogenní nebo mohou tvořit mykotoxiny. *Rhizopus nigricans* se používá pro výrobu kyseliny fumarové v průmyslu, a také při výrobě některých léků. Jiné druhy se v Japonsku uplatňují při zcukřování a zkvašování obilí na alkoholické nápoje (ŠILHÁNKOVÁ, 2002).

## **3.2.2 Třída Ascomycetes a mikromycety s neznámým pohlavním rozmnožováním**

Třída *Ascomycetes* patří do oddělení *Ascomycota*. Zástupci této třídy se nepohlavně rozmnožují pomocí konidií, které vznikají na konidioforech. Během rozmnožování pohlavního vznikají askospory v útvech zvaných asky. Asky jsou uloženy v plodničkách (KALHOTKA, 2014).

### **3.2.2.1 Rod *Alternaria***

*Alternaria* je kosmopolitně rozšířená plíseň, která se vyskytuje především v půdě (KALHOTKA, 2014). Dále je také přítomna na rostlinách a vzdušně může kontaminovat mlékárenské a pivovarské provozy (ŠILHÁNKOVÁ, 2002). Dosud bylo popsáno zhruba 449 druhů, variet a synonym tohoto rodu. Je charakteristický rychlým

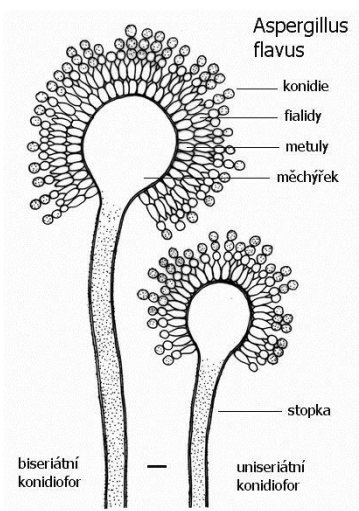
růstem a tvorbou nejprve bezbarvých, později šedých až černých kolonií (KALHOTKA, 2014). *Alternaria* se řadí do třídy *Deteromycetes*. Existují druhy, které se adaptovaly na parazitismus rostlin. Patogenní pro člověka jsou jen výjimečně, a to druh *Alternaria alterna*, který se podílí na vzniku astmatu a mykotických infekcí (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003).

Mycelium má septované, konidiofory vyrůstají pouze krátké a na nich se tvoří hruškovité makrokonidie (VLKOVÁ a RADA a KILLER, 2009). Tvoří vícebuněčné konidie, spory mají tmavou barvu, která je chrání proti slunečnímu světlu (ŠILHÁNKOVÁ, 2002).

Mezi mykotoxiny, které produkuje rod *Alternaria*, zařazujeme alternariol, altenuen, altertoxin a tenuazonovou kyselinu. Můžeme je najít v potravinách jako je pšenice, ječmen a další obiloviny, dále také v čerstvé zelenině, ořechách a kořeni. Mykotoxiny alternariol a altertoxin jsou mutagenní a způsobují rakovinu jícnu u zvířat, která konzumovala krmivo kontaminované alternáriemi (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003).

### 3.2.2.2 Rod *Aspergillus*

Rod *Aspergillus* obsahuje více než 221 druhů (KALHOTKA, 2014). Nejčastěji patří mezi plísně vyskytující se v půdě nebo jsou saprofytické. Český název pro plísně rodu *Aspergillus* je kropidlák, protože naším botanikům průřez rozmnožovacím orgánem připomínal kropítko. Řadí se do třídy *Ascomycetes* (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003).

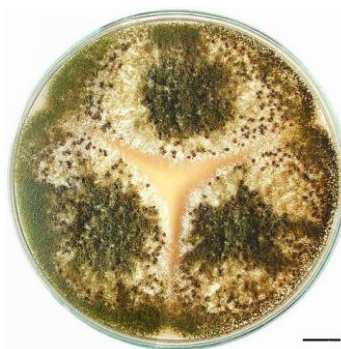


Obr. 1: *Aspergillus flavus* – schéma (CHUMCHALOVÁ et al., 2006a)

Některé druhy jako *Aspergillus fumigatus*, *A. flavus* a *A. niger* jsou patogenní a způsobují onemocnění zvané aspergilózy (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003). *Aspergillus flavus*, *A. parasiticus*, *A. ochraceus* a *A. fumigatus* jsou aspergily, které patří mezi největší producenty mykotoxinů. Nejčastěji produkovanými mykotoxiny tohoto rodu jsou aflatoxiny, ochratoxiny, patulin, citrinin, penicilová kyselina a sterigmatocystin (CALVO, 2005). Řada druhů a kmenů je využívána v biotechnologiích jako producenti enzymů (*A. niger* – amylázy, lipázy), organických kyselin (*A. niger* – kyselina citronová, *A. terreus* – kyselina itakonová) (KALHOTKA, 2014). Produkují také antibiotika, která však bývají velmi toxická, a proto nenašla uplatnění v medicíně (ŠILHÁNKOVÁ, 2002). Mohou také produkovat mykotoxiny, když rostou na sýrech (WALSTRA a WOUTERS a GEURTS, 2006).

Mezi potraviny, které bývají nejčastěji kontaminovány touto plísní, patří obiloviny, kukuřice, rýže, arašidy a bavlníková semena. Zde vyprodukované mykotoxiny také mohou přecházet skrz plesnivé krmivo do živočišných produktů (CALVO, 2005).

Aspergily mají bezbarvé, žluté, modré ale i černé, septované mycelium. Na rozšířený konidiofor nasedají fialidy, ze kterých se odškrcují jednotlivé konidie (VLKOVÁ a RADA a KILLER, 2009).



Obr. 2: *Aspergillus flavus* – kolonie (CHUMCHALOVÁ et al., 2006b)

### 3.2.2.3 Rod *Cladosporium*

Tento rod patří do třídy *Ascomycetes* a jeho zástupci jsou významnými saprofyty a parazity rostlin. Podílejí se také na kontaminaci potravin (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003). Známe více než 600 druhů a variet. K nejdůležitějším druhům patří *Cladosporium*

*herbarum* a *Cladosporium cladosporoides* (KALHOTKA, 2014). *Cladosporium* jen výjimečně parazituje na lidech. Produkce mykotoxinů tímto rodem není prokázána. Nejčastěji napadá obiloviny, ovoce, ořechy, ale také sýry a maso.

Jejich mycelium je septované, olivově zelené až černé barvy. Na konci konidioforu tvoří konidie, které jsou uspořádány do řetízků (VLKOVÁ a RADA a KILLER, 2009).

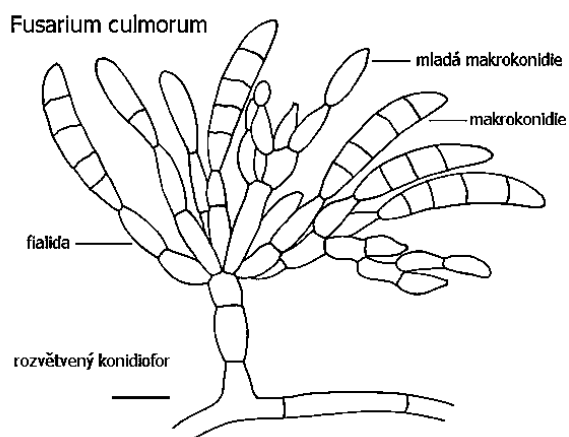
#### **3.2.2.4 Rod *Claviceps***

Malíř a Ostrý (2003) uvádějí, že zástupce tohoto rodu zařazujeme k význačným patogenům rostlin. Patří do třídy *Ascomycetes*. V současnosti známe zhruba 69 druhů tohoto rodu. Nejdůležitějším zástupcem je *Claviceps purpurea* – česky Paličkovice nachová (námel). Tato plíseň je zodpovědná za infekce žita a v menší míře také dalších obilných zrn, ale také travin. Způsobuje onemocnění zvané ergotismus, které v minulosti bylo velice časté při konzumaci chleba upečeného z infikovaného žita (BELITZ a GROSCH a SCHIEBERLE, 2009). Námel obsahuje až přes 40 druhů alkaloidů. Tyto alkaloidy vyvolávají u člověka otravu zvanou ergotismus (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003). Ergotismus patří mezi nejstarší popsanou mykotoxikózu (VELÍŠEK a HAJŠLOVÁ, 2009). Projevuje se nekrózou a gangrénou končetin (EGMOND, 1989). V současnosti se však už skoro vůbec nevyskytuje, protože je osivo ošetřováno fungicidy a žito se před mletím čistí a třídí (BELITZ a GROSCH a SCHIEBERLE, 2009).

#### **3.2.2.5 Rod *Fusarium***

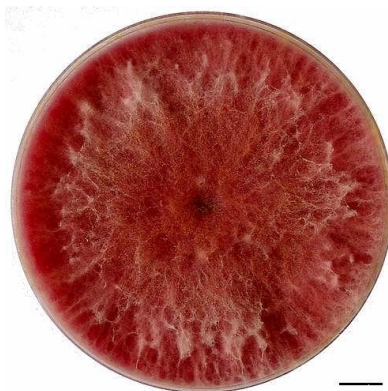
Existuje celá řada druhů rodu *Fusarium*, avšak jejich identifikace není jednoduchá. Tito zástupci se podílejí na fungování půdního ekosystému, kde rozkládají organickou hmotu. Některé druhy jsou parazité rostlin, jiné mohou být patogenní pro člověka a způsobovat mykotická onemocnění (KALHOTKA, 2014). Využívány jsou také v biotechnologiích pro výrobu mykoproteinu quornu (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003).

Vyskytují se zejména v obilovinách, ale také v některých druzích zeleniny a ořeších (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003). Způsobují kažení brambor, rajčat a jablek. Některé druhy jsou známé tím, že produkují nápadná barviva, která jsou uvolňována do prostředí. Jiné druhy mohou vytvářet toxická antibiotika nebo růstové látky (ŠILHÁNKOVÁ, 2002).



Obr. 3: *Fusarium culmorum* – schéma (CHUMCHALOVÁ et al., 2006c)

Popsáno bylo více jak sto mykotoxinů produkovanými *F. culmorum* a *F. graminearum*, mezi nejznámější patří deoxynivalenol, T-2 toxin, nivalenol a zearalenon (STEJSKAL a FRÝDOVÁ, 2011).



Obr. 4: *Fusarium culmorum* – kolonie (CHUMCHALOVÁ et al., 2006d)

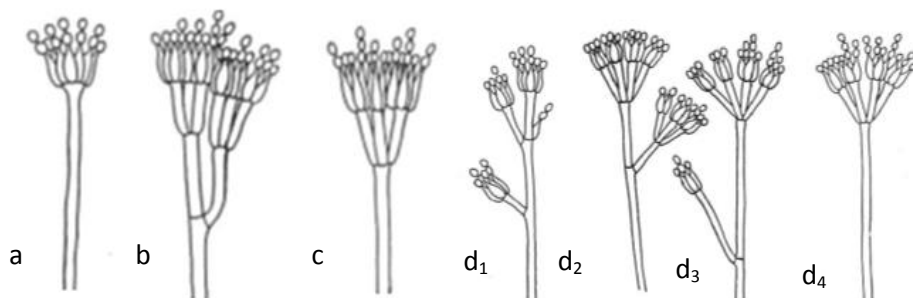
### 3.2.2.6 Rod *Penicillium*

Zástupci rodu *Penicillium* patří do třídy *Ascomycetes*. Existuje více než 225 druhů tohoto rodu. Jsou to nejrozšířenější vláknité mikromycety teplého a mírného klimatu. Jsou velice častými kontaminanty potravin a životního prostředí z důvodu prakticky všudypřítomných spor. Český název zní štětičkovec podle podobnosti nepohlavní rozmnožovací struktury k štětičce (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003).

Kolonie rodu *Penicillium* mají žlutozelené až modrozelené konidie, které jsou na kontaminovaných potravinách viditelné jako zelené, sametové až moučné povlaky. Okraje kolonií jsou bílé, protože neobsahují spory (ŠILHÁNKOVÁ, 2002). Struktura



stavby konidioforů je specifická pro každý podrod a podle této struktury se dělí do čtyř skupin: 1. *Aspergilloides* – konidiofor monoverticilátní, 2. *Biverticillium* – konidiofor biverticilátně symetrický, 3. *Furcatum* – konidiofor divarikátní, 4. *Penicillium* – konidiofor asymetricky větvený terverticilátní (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003).



Obr. 5: *Penicillium* – a) *Aspergilloides*, b) *Biverticillium*, c) *Furcatum*, d<sub>1</sub>-d<sub>4</sub>) *Penicillium* (KUBÁTOVÁ, 2006)

Mezi mykotoxiny produkované rodem *Penicillium* patří především patulin, ochratoxin A, citrinin, roqueforin C a cyklopiazonová kyselina. *Penicillium marneffeii* je patogenní druh, který způsobuje systémové infekce u pacientů s AIDS. *Penicillium* také často způsobuje alergie. *P. chrysogenum* se využívá jako startovací kultura pro výrobu fermentovaných masných výrobků s plísňovým pokryvem (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003). Některé kmeny druhů *Penicillium camemberti* a *P. roqueforti* se používají jako startovací kultury pro výrobu plísňových sýrů. Je pravda, že mohou produkovat velice toxické mykotoxiny, ale ty se nacházejí v sýrech jen ve velmi malých množstvích (WALSTRA a WOUTERS a GEURTS, 2006). *Penicillium chrysogenum* produkuje antibiotikum penicilin (ŠILHÁNKOVÁ, 2002). *Penicillium expansum* je celosvětově se vyskytující běžný patogen, který způsobuje modrou hnilobu jablek a hrušek. Při ní dochází ke tvorbě patulinu, který je hrozbou nejen pro čerstvé ovoce. Ke zvyšování hladiny patulinu navíc může docházet také při zpracování takto napadeného ovoce (BARKAI-GOLAN a PASTER, 2008).

### 3.2.2.7 Rod *Stachybotrys*

Patří k celosvětově rozšířeným vláknitým mikromycetům, které u zvířat mohou způsobovat onemocnění zvané stachybotrytoxikóza. Patogenní druh je *Stachybotrys chartatum*. Nejvýznamnějšími produkovanými mykotoxiny rodu *Stachybotrys* jsou

trichotheceny. Ty mohou být příčinou mykotických alergií a mykotoxikóz z vlhkých obytných prostorů. *Stachybotrys* řadíme mezi *Ascomycetes* (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003).

Kolonie mají obvykle šedobílou až černou barvu. Nacházejí se především v seně, slámě a jiných materiálech z celulózy. Spory jsou kulovitého tvaru a jsou uloženy v slizovité hmotě (KALHOTKA, 2014). Proto se spory shlukují do větších útvarů, které když se inhalují, tak vyvolávají intoxikace organismu (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003).

### 3.3 Mykotoxiny

#### 3.3.1 Obecná charakteristika

Mykotoxiny jsou sekundární metabolity, které jsou produkovány toxigenními druhy mikroskopických vláknitých hub v průběhu jejich růstu a vytváření spor. Korelace mezi množstvím spor a obsahem mykotoxinu v potravinách je poměrně malá. Navíc přítomnost plísní na potravině, nemusí nutně znamenat současný nález mykotoxinů. Slovo mykotoxin pochází z řeckého „mycos“ – houba a z latinského „toxicum“ – jed (WASSERBAUEROVÁ, 2011). Z celkového počtu 114 druhů mykotoxinů, které se vyskytují v potravinách, je pouze 65 druhů toxikogenních (VELÍŠEK a HAJŠLOVÁ, 2009; MALÍŘ et al., 2001). V současnosti je však známo přes 300 druhů a jejich objevování a výzkum neustále pokračuje (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003). Přítomnost mykotoxinů v potravinách a krmivech a také jejich vlivy na zdraví jedinců jsou hluboce zkoumány, ale studie týkající se jejich výskytu v prostředí, a také všeobecné informace týkající se mykotoxinů se mezi lidmi šíří jen velmi vzácně (MATA et al., 2014). Pouze 20 mykotoxinů se vyskytuje v lidském okolí ve výraznějších množstvích (MALÍŘ et al., 2001).

Do popředí zájmu se mykotoxiny dostaly až v druhé polovině 20. století, ale už od středověku byla známa souvislost mezi konzumací chleba upečeného z plesnivého obilí a určitými nemocemi lidí. V 18. století se tato nemoc pojmenovala ergotismus podle alkaloidu produkovaného paličkovici nachovou (GÖRNER a VALÍK, 2004).

Z chemického hlediska jsou mykotoxiny komplexní organické sloučeniny nebílkovinné povahy s nízkou molekulovou hmotností, které působí toxicky na člověka a další živé organismy. Produkce mykotoxinů je vysvětlována tak, že pomáhají plísním

v boji o přežití a potravu, ale nejsou pro jejich rozvoj nezbytně nutné (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003).

Známe více než stovku vláknitých hub, produkujících velké množství mykotoxinů s rozdílnou strukturou, které mají také rozdílné chemické, fyzikální a v neposlední řadě také toxické vlastnosti (MATA et al., 2014). Nejdůležitějšími mykotoxiny jsou aflatoxiny B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>, a M<sub>1</sub>, dále pak ochratoxin A, patulin, fumonisiny B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> a B<sub>3</sub> a také citrinin, deoxynivalenol, zearalenon a sterigmatocystin (MALÍŘ et al., 2001).

Podle Belitze, Grosche a Schieberleho (2009) bylo v letech 1995–2002 provedeno testování 40 druhů potravin na přítomnost aflatoxinů, deoxynivalenolu, fumonisinů, ochratoxinu A, patulinu a zearalenonu. Z monitorování vyplývá, že jednotlivé mykotoxiny se vyskytovaly ve 21 % vzorků. K nejvíce podezřelým potravinám patřily pistácie. Jak uvádí Barkai-Golan a Paster (2008), větší množství mykotoxinů se vyskytuje v sušeném ovoci než v ovoci čerstvém. Dalšími potenciálně nebezpečnými potravinami jsou rozinky a arašidy. Z ovoce bývají často napadány jablka, hrušky, meruňky a broskve. K oblastem, které mají vysoké riziko možné kontaminace mykotoxiny, patří území okolo Středozemního moře, jako je Iberijský poloostrov, jižní Itálie, Řecko a Turecko.

Z výsledků studie, která kontrolovala kontaminaci kukuřičných siláží, vyplynulo, že v ČR naprostá většina vzorků splňuje hygienické limity obsahu mykotoxinů, avšak téměř každý vzorek je kontaminován některým z mykotoxinů (KŘEPELKA, 2012).

Tab. 1: Vybrané potraviny, které mohou být nejčastěji kontaminované mykotoxiny (VLKOVÁ a RADA a KILLER, 2009)

<b>Mykotoxin</b>	<b>Potravina</b>
Aflatoxiny B <sub>1</sub> , B <sub>2</sub> , G <sub>1</sub> , G <sub>2</sub>	mandle, burské oříšky, vlašské ořechy, zrna obilnin a výrobky z nich, sušené ovoce, sója, koření, krmiva, medikamenty
Aflatoxin M <sub>1</sub>	mléko, jogurty, sýry, máslo, potraviny pro děti, medikamenty
Ochratoxin A	pšenice, ječmen, oves, rýže, víno, pivo, káva, sušené ovoce, koření, kakao, ledviny prasat, krmiva
Zearalenon	pšenice, ječmen, rýže, krmiva
Fumonisin	kukuřice, popcorn, müsli obilniny, potraviny pro děti

Všeobecně můžeme říct, že mykotoxiny se objevují spíše v zemích, které čelí problémům s podvýživou, a to zejména kvůli špatným metodám manipulace s potravinami a skladování surovin a jídla, ale také kvůli nedostatečné nebo celkově chybějící kontrole bezpečnosti potravin. Ve vyspělých zemích však také existují skupiny obyvatelstva, které mohou být vystaveny působení účinků mykotoxinů, v důsledku zvýšené konzumace určitého typu potravin (MATA et al., 2014).

Malíř et al. (2001) uvádí, že v České republice sleduje množství mykotoxinů v potravinách Státní veterinární správa (SVS) a Státní zemědělská a potravinářská inspekce. Na základě článku 50 Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 178/2002 byl zřízen Systém rychlého varování pro potraviny a krmiva (Rapid Alert System for Food and Feed, RASFF). Tento systém slouží k oznamování přítomnosti rizik ohrožujících lidské zdraví v potravinách. Díky RASFF dochází k rychlému šíření informací o nebezpečných potravinách v EU. V ČR je fungování tohoto systému podrobně upraveno Nařízením vlády č. 98/2005 Sb., kterým se stanoví systém rychlého varování o vzniku rizika ohrožení zdraví lidí z potravin a krmiv. Kontaktním místem je SZPI (ANON, 2011). V loňském roce bylo v ČR Systémem rychlého varování pro potraviny a krmiva (RASFF) zachyceno z celkového počtu 71 nebezpečí, sedm potravin nebo krmiv, která obsahovala nebezpečná množství mykotoxinů. Byly to: aflatoxiny v krmivu pro papoušky, v pistáciích, v syrovém mléce a sýru mozzarella a v loupaných arašidech, deoxynivalenol v kukuřičné strouhance a ochratoxin A v rozinkách (DOSTALÍKOVÁ, 2014).

Mykotoxiny jsou látky, které jsou přítomny v plesnivých surovinách, potravinách a krmivech. K jejich nejvýraznějším vlastnostem patří termorezistence, karcinogenita a mohou způsobit zánětlivé a trombotické změny v centrální nervové soustavě, což může vést k emboliím nebo ke krvácení (KUCHARSKA, 2005).

### **3.3.2 Rozdělení mykotoxinů**

Mykotoxiny můžeme dělit podle různých kritérií. Základní rozdělení je podle chemické struktury. Dále je můžeme dělit podle způsobu jejich biosyntézy. Rozdělení mykotoxinů také může probíhat na základě jejich toxicity z pohledu jak kvalitativního, tak i kvantitativního. V neposlední řadě můžeme mykotoxiny dělit podle jejich účinků na buňku (ŠIMŮNEK, 2003).

Tab. 2: Dělení mykotoxinů podle toxicity – kvalitativní (ŠIMŮNEK, 2003)

Hepatotoxiny	aflatoxiny, sporidesminy, luteoskyrin, sterigmatocystin aj.
Nefrotoxiny	ochratoxin A, citrinin aj.
Toxiny zažívacího traktu	T-2 toxin a další trichotheceeny
Neurotoxiny a myotoxiny	tremorgeny, např. penitrem A, citreoviridin
Dermotoxiny	verrucariny, psoraleny, sporidesminy, trichotheceeny aj.
Toxiny dýchacího traktu	Patulin
Genitotoxiny	Zearalenony
Imunotoxiny	aflatoxiny, ochratoxin A, trichotheceeny aj.

Tab. 3: Dělení mykotoxinů podle chemické struktury (ŠIMŮNEK, 2003)

Furanofurany	aflatoxiny, sterigmatocystin, versicolorin aj.
Substituované pyreny a hydroxypyreny	kyselina koji, sekalonové kyseliny aj.
Substituované chinony	luteoskyrin, rubratoxin, xanthomegnin, viridicatumtoxin aj.
Nenasycené laktony	patulin, kyselina penicillová, kyselina mykofenolová, alternariol, citreoviridin, ochratoxiny, rubratoxin B, 4,5,8-trimetylpsoralen aj.
Griseofulviny	Griseofulvin
Epoxytrichotheceeny	T-2 toxin, diacetoxyscirpenol, deoxynivalenol, nivalenol, fusarenony, verrucariny, roridiny, satratoxiny aj.
Polycyklické substituované indolové deriváty	kyselina cyklopiazonová, paspaliny, penitremy aj.
Cyklické dipeptidy	gliotoxin, sporidesminy, roquefortin, fumitremorgen, verruculogeny, brevianamidy aj.
Mykotoxiny jiné struktury	zearalenon, curvularin, citrinin, PR-toxin, canthecellin, moniliformin, kyselina betanitropropionová aj.

Tab. 4: Dělení mykotoxinů podle způsobu biosyntézy (ŠIMŮNEK, 2003)

Biosyntéza moniliforminu	moniliformin z kyseliny octové
Biosyntéza z polyketidů	patulin, ochratoxin, emodin, kyselina sekalonová, aflatoxiny aj.
Biosyntéza z isoprenoidů	trichotheceny, roquefortiny aj.
Biosyntéza z aminokyselin	kyselina cyklopiazonová, cyklické dipeptidy aj.

### 3.3.3 Faktory ovlivňující výskyt mykotoxinů v potravinách

Potraviny mohou být kontaminovány mykotoxiny ve všech fázích výroby, které předcházejí jejich konzumaci (VELÍŠEK a HAJŠLOVÁ, 2009). Vondrášková (2011) uvádí, že kontaminace zejména obilí mykotoxiny je velmi složitá situace, která může postihnout všechny, kteří pěstují a skladují obilí nebo vyrábějí a spotřebovávají potraviny z něj vyrobených. Napadení plísní a produkce mykotoxinů začíná už na poli a pokračuje během skladování surovin. Zhruba 25 % světových zásob zrnin je každoročně kontaminováno mykotoxiny, což způsobuje ztrátu téměř 55 mil. tun cereálií (MALÍŘ et al., 2001). Podle Malíře a Ostrého (2003) je třeba v první řadě dbát na správný výběr odrůdy plodiny, aplikaci vhodných pesticidů a následné dodržení ochranných lhůt a vhodná agrotechnická opatření, aby nedocházelo k zaplísnění už při pěstování.

Dalším krokem, při kterém dochází k rozvoji plísní a produkci mykotoxinů je sklizeň vlhkých obilovin a jejich nevhodné skladování za zvýšené teploty a vlhkosti vzduchu (KALHOTKA, 2014). Poškození zrna během manipulace může způsobit masivní pomnožení plísní. Také výroba potravin ze zaplísněných a poškozených surovin je velice riziková. V neposlední řadě při nevhodném uchovávání potravin v domácnostech dochází také k produkci mykotoxinů (KOMPRDA, 2004). Při krmení zvířat krmivem, které obsahuje mykotoxiny, dochází k jejich přechodu do mléka a masa (GÖRNER a VALÍK, 2004).

Jinou možností kontaminace potravin mykotoxiny je používání mikroskopických vláknitých hub při výrobě plísňových sýrů a fermentovaných masných výrobků, nebo také skrz produkty biotechnologií používaných jako aditiva, např. vitaminy a technické enzymy (VELÍŠEK a HAJŠLOVÁ, 2009).

Pro produkci mykotoxinů v potravinách můžeme použít tato čtyři základní pravidla:

- Dva a více mykotoxinů mohou být produkovány určitým druhem plísní.
- Určitý mykotoxin může být produkován zástupci několika rodů plísní.
- Odhalení plísní v potravine ještě neznamena přítomnost mykotoxinů.
- Ne všechny kmeny potencionálně toxikogenních plísní jsou toxikogenní.

Různé mykotoxiny vyskytující se společně v přirozeném prostředí mohou mít synergické účinky, čímž může docházet k zesilování nežádoucích toxických účinků (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003).

Rozsah kontaminace zemědělských plodin mykotoxiny je ovlivňován především vlastní rezistencí daného kultivaru plodiny proti napadání plísněmi, dále také hraje roli míra fyziologického stresu při růstu rostlin. Dalším faktorem je virulence mikroskopické vláknité houby a typ produkováného mykotoxinu. V neposlední řadě také fáze vegetačního cyklu, při které došlo k infekci a schopnosti enzymových systémů rostliny transformovat mykotoxin na netoxickou látku (VELÍŠEK a HAJŠLOVÁ, 2009).

Mezi vlivy vnějšího prostředí, které ovlivňují růst plísní a produkci mykotoxinů, patří teplota, pH, vodní aktivita a přítomnost kyslíku. Optimální teplota a obsah vody pro růst plísní je různý, a také platí, že u většiny plísní optimum pro růst se nerovná optimu pro produkci mykotoxinů, např. optimum pro růst *Aspergillus flavus*  $a_w = 0,95$  a teplota 36 °C, ale pro produkci aflatoxinů je to teplota 33 °C a  $a_w = 0,99$  (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003). Mikroskopické vláknité houby se však rozmnožují za nižší vodní aktivity než většina kvasinek a bakterií, a proto osídlují potraviny, ve kterých se neuplatňují bakterie a kvasinky. Ideální pH pro většinu plísní se pohybuje v rozmezí neutrálního pH, ale vyskytovat se mohou v prostředí s pH 1,2 až 11. V silně kyselém prostředí se rozmnožují především druhy, které produkují organické kyseliny, což jsou některé aspergily a penicilia. Plísně jsou aerobní organismy, a proto potřebují ke svému růstu a produkci mykotoxinů kyslík (ŠILHÁNKOVÁ, 2002).

Tab. 5: Obecné charakteristiky pro růst mikromycetů a produkci mykotoxinů v potravinách (OSTRÝ, 1998)

Faktor	Růst	Produkce mykotoxinů
Teplota	-12–55°C	4–40 °C
pH	7,7–10	2,5–8, optimum 5–7
a <sub>w</sub>	min. 0,62	min. 0,8–0,85
Eh	aerobní podmínky	aerobní podmínky
Vliv solí	do 20 % NaCl	do 14 % NaCl
Vliv cukru	do 50 % sacharózy ( <i>Aspergillus flavus</i> )	do 50 % sacharózy ( <i>Aspergillus flavus</i> )
Vliv fytoalexinů	Inhibice	inhibice
Vliv látek v kořeni	inhibice (eugenol, anetol, tymol)	inhibice (eugenol, anetol, tymol)
Vliv jiných mikromycetů	není znám	inhibice (výskyt <i>Aspergillus sk. niger</i> )
Infekce viry	není znám	inhibice (RNA mykoviry)

V České republice je rod *Fusarium* dominantní rod mezi plísněmi uplatňujícími se na poli (KŘEPELKA, 2012). Plísně napadající plodiny zejména při skladování jsou plísně rodu *Aspergillus*. Rod *Penicillium* se uplatňuje jak na polích, tak při skladování plodin (KOMPRDA, 2004; MALÍŘ et al., 2001).

### 3.3.4 Biologické účinky mykotoxinů

#### 3.3.4.1 Toxicita mykotoxinů

V oblastech Afriky a Asie jsou potraviny masivně kontaminovány poměrně vysokými koncentracemi mykotoxinů, a proto se zde zkoumá především jejich akutní toxicita po jednorázovém požití a chronická toxicita po opakovaném podání menších dávek. Naopak v Evropě a Severní Americe jsou potravinové komodity méně kontaminovány mykotoxiny, vzhledem k lepším podmínkám a technologiím, a proto se zde sledují hlavně jejich pozdní toxické účinky, které bývají především mutagenní, karcinogenní, embryotoxické a alergenní (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003). Dále to mohou být účinky



imunopresivní, které potlačují a poškozují imunitní systém jedince (MALÍŘ et al., 2001).

Kalhotka (2014) uvádí, že mykotoxiny lze rozdělit na silně toxické, středně toxické a slabě toxické. Toxické účinky mykotoxinů klesají v řadě: aflatoxiny, ochratoxin A > zearalenon, trichotheceny, patulin > fumonisiny (KOMPRDA, 2004).

Mykotoxiny, jak píše Betina (1990), mohou mít rozmanité účinky na živý organismus. Jejich toxicita závisí nejenom na jejich struktuře, ale také na živočišném druhu, na který působí. Mezi mykotoxiny s hepatotoxickým účinkem patří aflatoxiny a ochratoxiny, nefrotoxický je například ochratoxin. Některé druhy jsou tak toxické, že mohou způsobit smrt lidí i živočichů.

### 3.3.4.2 Akutní a chronické toxické účinky

Akutní toxicita se odhaduje výpočtem LD<sub>50</sub>, tzn. výpočtem dávky, která způsobí 50% úmrtnost u experimentálních zvířat. Expozice u těchto otrav trvá zhruba 24 hodin. Projevy akutní otravy jsou náhlé a bouřlivé, mívají kritické následky a vyskytují se v kratších časových intervalech, ať už po jednorázovém nebo opakovaném podání vyšší dávky toxinů (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003). Ačkoli se nyní akutní mykotoxikózy vyskytují jen zřídka, je třeba, aby jejich projevy byly dobře popsány, aby je zdravotníci pracovníci byly schopni poznat. Také je pravděpodobné, že k akutním mykotoxikózám budou více náchylné děti, v důsledku jejich nižší tělesné váhy, rychlejšího metabolismu a nedovyvinutým funkcím orgánů na detoxikaci organismu (PERAICA a RICHTER a RAŠÍČ, 2014). Ostrý (1999) ve své práci píše, že nebezpečí akutního toxického účinku mykotoxinů je v České republice pokládáno za minimální.

Tab. 6: Dělení mykotoxinů podle jejich akutní toxicity pro běžná laboratorní zvířata, např. potkana (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003)

Toxicita	Mykotoxin
Silně toxické (LD <sub>50</sub> cca jednotky mg/kg.t. hm.)	Aflatoxiny, citreoviridin, cyklochlorotin diacetoxyscipenol, luteoskyrin, ochratoxin A, patulin, penitrem A, rubratoxiny, sporidesminy, T-2 toxin
Středně toxické (LD <sub>50</sub> cca desítky mg/kg.t. hm.)	Citrinin, kyselina cyklopiazonová, kyselina penicilová, sterigmatocystin
Slabě toxické (LD <sub>50</sub> cca desítky mg/kg.t. hm.)	Kyselina koji, trichotheceny, kyselina mykofenolová, cheatomin, zearalenon

Chronické otravy vznikají působením menších dávek toxinů než u akutní toxicity, ale v delším časovém období (týdny až roky). Dochází k nim v důsledku akumulace mykotoxinů v těle (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003).

#### **3.3.4.3 Pozdní toxické účinky**

Mezi pozdní toxické účinky patří především genotoxicita, která zahrnuje mutagenní, karcinogenní a embryotoxické, imunosupresivní a alergenní účinky (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003). Ty se vyskytují až po delší době od expozice toxinu. Riziko pozdních toxických účinků, zejména karcinogenní riziko, se považuje za významné (OSTRÝ, 1999). Mutagenní účinky způsobují změnu v genetické informaci, což může způsobit poškození budoucího jedince (MALÍŘ et al., 2001).

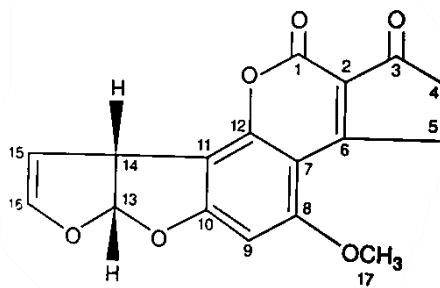
Mykotoxiny jsou děleny mezinárodní agenturou pro výzkum rakoviny (IARC/WHO) do tří kategorií. Do první kategorie spadají aflatoxiny B a G, které jsou prokázanými karcinogeny, do druhé kategorie řadíme ochratoxin A, aflatoxin M<sub>1</sub> a fumonisiny, což jsou možné karcinogeny člověka a ve třetí skupině je patulin, zearalenon a deoxynivalenol, u kterých zatím nebylo prokázáno, zda jsou pro člověka karcinogenní (MALÍŘ et al., 2001).

### **3.3.5 Charakteristika významných mykotoxinů**

#### **3.3.5.1 Aflatoxiny**

Aflatoxiny byly objeveny v roce 1960 v Anglii. V tomto roce došlo k uhynutí desetitisíců mladých krůt, na tzv. onemocnění X. Krůty byly krmeny moučkou z podzemnice olejně původem z Brazílie, která byla napadena mikroskopickou houbou *Aspergillus flavus*. Toxiny produkované touto plísní byly pojmenovány aflatoxiny. Pomocí tenkovrstvé chromatografie se rozdělily na čtyři složky – aflatoxiny B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, G<sub>1</sub> a G<sub>2</sub> (BETINA, 1990). Označení B a G souvisí s barvou, kterou tyto aflatoxiny vykazují při chromatografii: B – blue, G – green (VELÍŠEK a HAJŠLOVÁ, 2009). Později došlo k izolaci dalších dvou aflatoxinů – AFM<sub>1</sub> a AFM<sub>2</sub>, které se vyskytovaly v mléce krav, které byly krmeny moučkou z napadené podzemnice olejně (BETINA, 1990). AFM<sub>1</sub> a AFM<sub>2</sub> vznikají v těle zvířete, a to činností organismu z AFB<sub>1</sub>. Množství vzniklého AFM<sub>1</sub> je 1–2 % z přijatého AFB<sub>1</sub>. V mléce se objevují po 12–24 hodinách od pozření

a zcela z mléka vymizí až po 3 dnech od poslední konzumace krmiva obsahujícího AFB<sub>1</sub> (EGMOND, 1989). Z toho důvodu musí krmivo pro zvířata splňovat přísné požadavky (WALSTRA a WOUTERS a GEURTS, 2006).



Obr. 6: Strukturální vzorec aflatoxinu B<sub>1</sub> (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003)

Z chemického hlediska řadíme aflatoxiny ke kumarinům, které jsou polycyklické nesaturované a vysoce substituované (KALHOTKA, 2014). Celkem je známo třináct přírodních aflatoxinů (VELÍŠEK a HAJŠLOVÁ, 2009). Vondrášková (2011) uvádí, že mezi hlavní producenty patří především *Aspergillus flavus* a *Aspergillus parasiticus*. *A. flavus* je ubikvitární a napadá spíše nadzemní části rostlin, zatímco *A. parasiticus* se více adaptoval na prostředí půdy (BRIMER, 2011). Těmto plísním se daří především v horkém, vlhkém, subtropickém a tropickém klimatu (CALVO, 2005). Optimální teplota pro růst jejich mycelií je 13–37 °C, vodní aktivita je < 0,82. Při takových podmínkách může docházet k rozvoji aspergilů téměř na všech substrátech (VELÍŠEK a HAJŠLOVÁ, 2009). Především sem patří obiloviny (kukuřice, pšenice, čirok a rýže), olejniny (sója, semena bavlníku, arašidy a slunečnice), koření a ořechy (VONDRÁŠKOVÁ, 2011). Z mnoha různých studií vyplývá, že velmi často kontaminovanou potravinou jsou pistácie, ale také mandle a arašidy (PERRE et al., 2015). Nejnáchylnější ke kontaminaci jsou potraviny vyrobené z kukuřice, koření, arašidy a dalších ořechů. V obilovinách se aflatoxiny vyskytují méně, a to především kvůli sekundární kontaminaci při skladování (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003). Vyskytují se také v mléčných produktech. Přecházejí do nich dvěma způsoby: nepřímo, zkrmováním zaplísňených krmiv, tzv. carry-over a přímo kontaminací těchto produktů plísněmi (EGMOND, 1989).

Největším problémem představují aflatoxiny v málo rozvinutých zemích, ležících v topickém pásmu, ale také v oblastech s vysoce rozvinutým zemědělstvím, které leží v teplém klimatu (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003). Nejčastěji se vyskytujícím aflatoxinem,

který je nejvíce prostudován a také má nejvyšší akutní toxicitu je AFB<sub>1</sub> (KALHOTKA, 2014). Akutní toxicita AFB<sub>1</sub> záleží na druhu zvířete a pohybuje se v rozmezí 0,33–18 mg.kg<sup>-1</sup>, k projevům po pozření vysoké dávky dochází během 3–6 hodin (KOMPRDA, 2004). Mezi hlavní toxické účinky aflatoxinů můžeme zařadit hepatotoxicitu, imunotoxicitu, karcinogenitu, mutagenitu a teratogenitu. Aflatoxiny jsou primárně metabolizovány v játrech a většina primárních metabolitů je dále detoxikována a vylučována z těla močí a stolicí. Účinky aflatoxinů mohou být prohloubeny podvýživou, což se projevuje zejména v zemích třetího světa. Účinky také zesilují další mykotoxiny, a to deoxynivalenol a nivalenol (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003). Betina (1990) zdůrazňuje, že AFB<sub>1</sub> je nejznámější přírodní hepatokarcinogen. Způsobuje degeneraci hepatocytů, proliferaci žlučových a centrolobulární jaterní nekrózy. Po játrech jsou dalšími orgány, které jsou napadány plíce, ledviny a myokard (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003). AFM<sub>1</sub> vykazuje také hepatotoxické a karcinogenní vlastnosti, a jeho toxicita je stejná nebo o něco menší než AFB<sub>1</sub>, avšak karcinogenita je nižší o dva řády (EGMOND, 1989).

Aflatoxiny jsou hydrofilní sloučeniny, a proto se při výrobě rostlinných olejů koncentrují zejména ve šrotech, a podobně při zpracování mléka, kde se odděluje tuk, musíme počítat se zkoncentrováním AFM<sub>1</sub> v odtučněných tvarozích, syrovátce a podmásli. Při vaření piva také přechází zhruba 20–25 % aflatoxinů z původního ječmene, avšak do destilátů aflatoxiny nepřechází (VELÍŠEK a HAJŠLOVÁ, 2009).

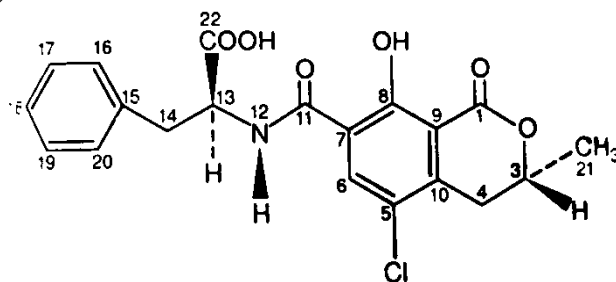
Jelikož patří mezi poměrně stabilní sloučeniny, tepelné ošetření je částečně inaktivuje až po delším působení teplot nad 100 °C (GÖRNER a VALÍK, 2004). Použitím vysoké teploty a alkalického pH se zničí aflatoxiny v kukuřici, avšak tento proces snižuje kvalitu zrna, které je pak vhodné pouze jako krmivo pro zvířata (HEREDIA a WESLEY a GARCÍA, 2009). V pivě po fermentaci zůstává asi 18–20 % AFB<sub>1</sub> (MALÍŘ et al., 2001).

Evropská komise stanovila maximální limit AFB<sub>1</sub> v rozmezí 2–12 µg.kg<sup>-1</sup> v závislosti na typu potraviny. *Codex Alimentarius* stanovil limit 15 µg.kg<sup>-1</sup> pro pistácie, arašidy, lískové ořechy, mandle a pro skořápky para ořechů, které jsou určeny pro další zpracování (PERRE et al., 2015). Maximální limity pro AFB<sub>1</sub> jsou stanoveny na 8 µg.kg<sup>-1</sup> pro jádra podzemnice olejné určené k přímé spotřebě, 5 µg.kg<sup>-1</sup> pro skořápkové plody, sušené ovoce a kukuřici, které musí být před použitím k lidské spotřebě tříděny nebo jinak fyzikálně ošetřeny a dále také pro koření (chilli, kayenský

pepř, paprika, bílý a černý pepř, muškátový oříšek, zázvor a kurkuma),  $2 \mu\text{g.kg}^{-1}$  pro jádra podzemnice olejné, skořápkové plody a výrobky z nich, pro sušené ovoce a výrobky z něj, které jsou určeny pro přímou lidskou spotřebu a také pro obiloviny a všechny potraviny pocházející z nich. V neposlední řadě také  $0,1 \mu\text{g.kg}^{-1}$  pro obilné a ostatní příkrmy a dietní potraviny pro zvláštní léčebné účely určené pro kojence a malé děti. Suma  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $G_1$  a  $G_2$  je stanovena na  $15 \mu\text{g.kg}^{-1}$  pro jádra podzemnice olejné určené k přímé spotřebě,  $10 \mu\text{g.kg}^{-1}$  pro skořápkové plody, sušené ovoce a kukuřici, které musí být před použitím k lidské spotřebě tříděny nebo jinak fyzikálně ošetřeny a dále také pro koření (chilli, kayenský pepř, paprika, bílý a černý pepř, muškátový oříšek, zázvor a kurkuma),  $4 \mu\text{g.kg}^{-1}$  pro jádra podzemnice olejné, skořápkové plody a výrobky z nich, pro sušené ovoce a výrobky z něj, které jsou určeny pro přímou lidskou spotřebu a také pro obiloviny a všechny potraviny pocházející z nich. Limity také existují pro  $\text{AFM}_1$ , a to  $0,05 \mu\text{g.kg}^{-1}$  pro syrové mléko, tepelně ošetřené mléko a mléko na výrobu mléčných výrobků a  $0,025 \mu\text{g.kg}^{-1}$  pro počáteční a pokračovací kojeneckou výživu a dietní potraviny určené pro zvláštní léčebné účely (NAŘÍZENÍ KOMISE (ES) č. 1881/2006).

### 3.3.5.2 Ochratoxin A

V roce 1965 došlo v Jižní Americe k objevení ochratoxinů při laboratorním vyšetřování vláknitých toxikogenních hub izolovaných ze zemědělských plodin (BETINA, 1990). Mezi nejznámější producenty patří v tropických a subtropických oblastech s teplotním optimem okolo  $28 \text{ }^\circ\text{C}$  *Aspergillus ochraceus* (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003). Dalšími producenty jsou *Penicillium verrucosum*, který se uplatňuje v chladnějších oblastech severní Evropy, a *A. carbonarius*, který kontaminuje cereálie, kakao a kávu (BRIMER, 2011). Velišek a Hajšlová (2009) uvádí, že nejvyšší toxické účinky vykazuje právě ochratoxin A (OTA).



Obr. 7: Strukturální vzorec OTA (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003)

Z hlediska biosyntézy patří OTA mezi pentaketidy, obecně jej lze charakterizovat jako derivát izokumarinu vázaného na aminoskupinu L- $\beta$ -fenylalaninu (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003). Ve své molekule obsahuje také chlor, kterému jsou přičítány hlavní toxické vlastnosti. OTA patří mezi stabilní sloučeniny a při tepelném opracování nedochází k jeho výrazným úbytkům (VELÍŠEK a HAJŠLOVÁ, 2009).

Pokud je kontaminováno krmivo zvířat, přechází OTA do orgánů hospodářských zvířat, především do ledvin a také do masa (VELÍŠEK a HAJŠLOVÁ, 2009). Vyskytuje se v řadě potravin rostlinného, ale také živočišného původu. Mezi hlavní zdroje patří především cereálie, vepřové maso, káva, kakao, pivo, víno, luštěniny a koření (MAGAN et al., 2004). Jejich přítomnost byla prokázána také v sušeném ovoci, zejména v rozinkách, datlích, švestkách a ficích (PERRE et al., 2015). Obsah OTA v kávě se významně snižuje jejím zpracováním, zejména pražením. Pro obsah OTA v pražené a rozpustné kávě jsou stanoveny legislativní limity a jsou jen zřídka překračovány, jiné je to však u kávy, která má horší jakost a u které je snižená nebo žádná kontrola (VIEIRA a CUNHA a CASAL, 2015). Pokud se OTA vyskytuje v pivu, je to zapříčiněno špatnou vstupní surovinou, tzn. sladovnickým ječmenem a sladem. Během technologických procesů část OTA přechází do mláta a část se adsorbuje na kvasinky, zbytek přechází do piva. Během sledování výskytu OTA v láhvoých pivech, zakoupených v ČR mezi lety 2011–2014, bylo 81 % vzorků pozitivních na obsah OTA vyšší než  $1,0 \text{ ng.l}^{-1}$ . Většina se však vyskytovala v takových koncentracích, které nejsou zdravotně závadné (BĚLÁKOVÁ et al., 2015). Malíř et al. (2001) poukazuje na to, že i po úpravě sladu zůstává 96 % OTA z původního množství.

OTA je absorbován do těla hlavně v gastrointestinálním traktu a množství, které prostoupí do organismu, záleží na živočišném druhu. Kuřata absorbují zhruba o 26 % méně OTA než prasata. Absorpce probíhá nejprve v žaludku a pak v tenkém střevě. Kumuluje se zejména v ledvinách, ale také v játrech, svalech a tuku. Jakmile je absorbován, váže se na sérové proteiny a koluje organismem s krví. Může přecházet do mléka a také skrz placentu k plodu (MAGAN et al., 2004). V organismu se OTA chová jako kumulativní jed, který je rychle absorbován, ale pomalu vylučován. Poločas vylučování u člověka je zhruba 35 dní (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003). Brimer (2011) tvrdí, že prasata patří mezi organismy, které jsou nejvíce citlivé na toxicitu OTA.

OTA je silný nefrotoxin, ale působí také hepatotoxicky, teratogenně a imunotoxicky. Je považován za možný karcinogen (PERRE et al., 2015). Taktéž se

dává do spojitosti s Balkánskou endemickou nefropatií, což je chronické progresivní onemocnění ledvin, které se objevovalo v některých oblastech Balkánských zemí (EGMOND, 1989). OTA také představuje nebezpečí pro vyvíjející se plod, protože prochází přes placentu (zejména na začátku těhotenství). Pomocí HPLC testovali krev sta českých žen. Výsledkem bylo, že 96 % testovaných vzorků bylo pozitivních na přítomnost OTA v rozmezí 0,1–0,35  $\mu\text{g.l}^{-1}$  (MALÍŘ et al., 2013). Analýza z různých zemí světa ukázala, že hodnoty OTA jsou u těhotných žen v rozmezí 0,06–3,41  $\mu\text{g.l}^{-1}$ . OTA byl také naměřen v množství 0,13–5,42  $\mu\text{g.l}^{-1}$ , což způsobilo značné obavy z možných zdravotních rizik pro lidský plod (WOO et al., 2012).

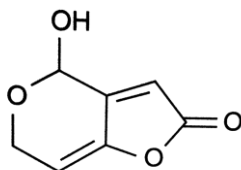
Evropský úřad pro bezpečnost potravin (EFSA) stanovil tolerovatelný týdenní příjem na 120  $\text{ng.kg}^{-1}$  tělesné hmotnosti. Na základě tohoto stanoviska se stanovily maximální limity pro nezpracované obiloviny, pražená kávová zrna a mletou praženou kávu na 5  $\text{ng.kg}^{-1}$  tělesné hmotnosti. Pro sušené hrozny révy vinné a rozpustnou kávu 10  $\text{ng.kg}^{-1}$ , pro víno a hroznovou šťávu 2  $\text{ng.kg}^{-1}$  a pro obilné příkrmy a příkrmy určené pro kojence a malé děti, jakož i dietní potraviny pro zvláštní léčebné účely určené pro kojence 0,5  $\text{ng.kg}^{-1}$  (NAŘÍZENÍ KOMISE (ES) č. 1881/2006).

Reálný příjem se u evropského konzumenta pohybuje v rozmezí 15–60  $\text{ng.kg}^{-1}$  tělesné hmotnosti. Z toho vyplývá, že maximální limity jsou překračovány jen výjimečně (VELÍŠEK a HAJŠLOVÁ, 2009).

### 3.3.5.3 *Patulin*

Patulin byl objeven v roce 1941 při výzkumu nových antibiotik. Mezi nejčastější producenty patulinu patří mikroskopické houby rodu *Penicillium*, zejména *P. patulinum* a *P. expansum*, ale také *Aspergillus* (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003). *Penicillium* patří mezi časté patogeny ovoce (VELÍŠEK a HAJŠLOVÁ, 2009). Nalézá se především v ovoci, jako jsou jablka, hrozny, meruňky, broskve, hrušky, ale také v olivách (MAGAN et al., 2004). Plísň se většinou uplatňuje na ovoci až po předchozím napadení hmyzem nebo jinou nemocí (BRIMER, 2011). Pokud je patulin obsažen v potravinách, indikuje špatné výrobní procesy, jako je používání plesnivých, neprotříděných surovin. Tak se dostává do jablečných šťáv (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003; EGMOND, 1989). Patulin představuje nebezpečí hlavně v pomerančových a jablečných šťávách (MAGAN et al., 2004).

Po chemické stránce se patulin zařazuje mezi nenasycené laktony. Vykazuje antibiotické účinky, avšak je také neurotoxický, imunosupresivní a poškozuje trávicí trakt (KALHOTKA, 2014).



Obr. 8: Strukturální vzorec patulinu (BRIMER, 2011)

Dalšími negativními účinky patulinu jsou cytotoxicita a genotoxicita (MAGAN et al., 2004). Zvyšuje propustnost buněčných membrán a inhibuje aldolázu. V kyselém prostředí je relativně stabilní. Obsah patulinu v jablečných šťávách se dá snížit působením vysoké teploty, oxidu siřičitého, vitamínu C a B nebo vlivem záření, ozónu a fermentací při výrobě alkoholických nápojů (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003).

Do organismu je největší množství patulinu přijato skrze ovocné šťávy. Patulin reaguje s poslední thiolovou skupinou bílkovin polypeptidů přítomných v potravinách. Patulin obsažen v potravinách je méně toxický, než je-li přítomen v pitné vodě, jelikož v potravinách je navázán na thiolovou skupinu a je tak méně biologicky dostupný (MAGAN et al., 2004).

Vědecký výbor pro potraviny stanovil prozatímní maximální tolerovatelný denní příjem patulinu na  $0,4 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  tělesné hmotnosti. Maximální limit pro ovocné šťávy a rekonstituované ovocné šťávy a nektary a také pro lihoviny, jablečné víno a jiné fermentované nápoje získané z jablek je  $50 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Pro pevné výrobky z jablek jako jsou kompoty a jablečná pyré je  $25 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Pro pevné výrobky z jablek jako jsou kompoty a jablečná pyré a také jablečnou šťávu, určenou pro kojence a malé děti je  $10 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Tento maximální limit platí i pro jiné než obilné příkrmy pro kojence a malé děti (NAŘÍZENÍ KOMISE (ES) č. 1881/2006).

#### 3.3.5.4 *Fumonisin*

Byly objeveny na konci 80. let dvacátého století v Jihoafrické republice. Produkce fumonisinů byla prokázána u celkem 20 druhů rodu *Fusarium*. Mezi hlavní producenty patří *Fusarium moniliformis* a *F. proliferatum* (VELÍŠEK a HAJŠLOVÁ, 2009). Tyto toxiny jsou obsaženy v obilovinách po celém světě, především v kukuřici a výrobcích z ní (MAGAN et al., 2004).



Fumonisinů můžeme po chemické stránce zařadit mezi složité alifatické sloučeniny (KALHOTKA, 2014). Odvozeny jsou od nenasycených mastných kyselin (ŠIMŮNEK, 2003). Z hlediska jejich biosyntézy patří mezi nonaketidy. V současnosti můžeme fumonisinů dělit do 4 skupin podle jejich struktury na A, B, C a P. Mezi sledované patří zejména fumonisinů skupiny B především B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> a B<sub>3</sub>, které patří mezi časté kontaminanty krmiva a potravin. Prekursorem pro B<sub>1</sub> fumonisin je aminokyselina alanin (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003). Fumonisin B<sub>1</sub> se považuje za nejvíce toxický (BRIMER, 2011).

Patří mezi značně stabilní látky. Odolávají vyšším teplotám, teplota 200 °C je ničí až po 60 minutách. Můžou být hydrolyzovány pomocí vyššího pH a teploty, například při výrobě *tortillas* a *nachos*. Fumonisinů vyvolávají u hospodářských zvířat řadu onemocnění, např. edém plic u prasat a leukoencefalomalacii u koní (VELÍŠEK a HAJŠLOVÁ, 2009). Jejich toxicita je dána podobností se strukturou sfingosinu, čímž dochází k inhibici sfingosin-N-acetyltransferázy. Patří také mezi významné karcinogeny člověka (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003).

Vědecký výbor pro potraviny stanovil pro fumonisinů hodnotu 2 µg.kg<sup>-1</sup>. Maximální limity pro kukuřici byly stanoveny v důsledku kontrol její sklizně, které prokázaly vysokou koncentraci fumonisinů a jsou nařízeny pro nezpracovanou kukuřici na 2000 µg.kg<sup>-1</sup>, kukuřičnou mouku, krupici, klíčky a rafinovaný olej 1000 µg.kg<sup>-1</sup>, pro kukuřičné potraviny k přímé spotřebě 400 µg.kg<sup>-1</sup> a pro kukuřičné příkrmy pro kojenče a malé děti 200 µg.kg<sup>-1</sup> (NAŘÍZENÍ KOMISE (ES) č. 1881/2006).

### 3.3.5.5 *Deoxynivalenol*

Deoxynivalenol (DON) je také známý pod triviálním názvem vomitoxin, jelikož způsobuje zvracení (vomitus) a průjem u prasat (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003; EGMOND, 1989). Je produkován rodem *Fusarium* a patří mezi trichotheceny typu B, což znamená, že obsahují na C-8 oxoskupinu. Jejich výskyt je především v oblastech mírného pásma (VELÍŠEK a HAJŠLOVÁ, 2009). Jeho nejvýznamnějšími producenty jsou *Fusarium graminearum* a *F. culmorum*, které hojně napadají různé druhy obilovin a zpracovaného obilí (VONDRÁŠKOVÁ, 2011; BRIMER, 2011). Podle Stejskala a Frýdové (2011) je obsah DON v pšenici ze 48 % ovlivněn prostředím, z 27 % odrůdou a ze 14–28 % předplodinou. V zemích jako je Rakousko, Kanada, Velká Británie a Švédsko je považován za nejvýznamnější mykotoxin. Přechod DON do živočišných produktů je

zanedbatelný (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003). Pokud je obilnina kontaminovaná vysokými koncentracemi DON, je pravděpodobné, že se zde nacházejí i další mykotoxiny (STEJSKAL a FRÝDOVÁ, 2011). Ke kontaminaci obilovin dochází především na poli ještě před sklizní (HEREDIA a WESLEY a GARCÍA, 2009).

K příznakům akutní toxicity patří zvracení a střevní potíže. Dále vykazuje imunosupresivní a teratogenní účinky. Nejvíce se vyskytuje v obilovinách a výrobcích z nich, např. v ječmeni a výrobcích z něj, kukuřici a pšenici, chlebu, těstovinách, müsli, pivě, koření nebo bramborách (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003). Šottníková a Cwíková a Slonek (2010) sledovali změnu hladiny DON v průběhu skladování obilovin v síle. Z výsledků testu vyplynulo, že pozitivní na obsah DON byly všechny analyzované vzorky v rozmezí 5,3–1016,1  $\mu\text{g.kg}^{-1}$ . Maximální legislativní limit pro nezpracované obiloviny, který je 1250  $\mu\text{g.kg}^{-1}$ , však nebyl překročen ani jednou. Z piva deoxynivalenol nemůžeme odstranit vařením, protože se jedná o teplotně velmi stabilní mykotoxin (MALÍŘ et al., 2001).

DON je značně stabilní i ve vodním prostředí a teplotou se ničí jen pomalu, ale snížení obsahu lze dosáhnout mytím postiženého obilí, jelikož se DON nachází v povrchových vrstvách (VELÍŠEK a HAJŠLOVÁ, 2009). Jeho koncentrace zůstává stejná i při technologickém opracování (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003). Stejskal a Frýdová však poukazují na to, že koncentrace DON v ječmeni se během namáčení sníží o 80–100 % avšak při klíčení jeho obsah opět vzroste a to až o 300 %, proto ve většině případů obsahuje slad více tohoto toxinu než ječmen, ze kterého byl vyroben.

Vědecký výbor pro potraviny stanovil maximální denní příjem DON na 1  $\mu\text{g.kg}^{-1}$ . Maximální limit pro nezpracované obiloviny, kromě pšenice tvrdé, ova a kukuřice se stanovil na 1250  $\mu\text{g.kg}^{-1}$ , pro nezpracovanou pšenici tvrdou, oves a kukuřici pak 1750  $\mu\text{g.kg}^{-1}$ . Pro obiloviny určené k přímé spotřebě, obilnou mouku, otruby a těstoviny v suchém stavu 750  $\mu\text{g.kg}^{-1}$ . Dále pro pečivo, sušenky a snídaňové cereálie 500  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  a také pro obilné příkrmy určené pro kojence a malé děti 200  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  (NAŘÍZENÍ KOMISE (ES) č. 1881/2006).

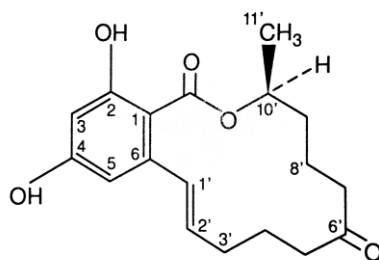
### **3.3.5.6 Zearalenon**

Vondrášková (2011) uvádí, že zearalenon je tvořen řadou druhů rodu *Fusarium* a *Giberella*, které napadají kukuřici, ječmen, oves a čirok. Byl objeven v roce 1927. Při práci s prasaty, byly pozorovány prasničky se zduřením rodidel, způsobovaným

zkrmováním plesnivou kukuřicí (MAGAN et al., 2004). Hlavním producentem je *Fusarium graminearum* a *F. culmorum* (WEIDENBÖRNER, 2001).

Potraviny, které obsahují větší množství zearalenonu jsou obiloviny a výrobky z nich, pivo, kukuřice, popcorn, cornflakes a různá koření. Pokud je potravina kontaminována zearalenonem, téměř vždy obsahuje také další fusariotoxiny (VELÍŠEK a HAJŠLOVÁ, 2009). K produkci zearalenonu přispívá střídání nízkých a mírných teplot během skladování a teplota okolo 27 °C (VONDRÁŠKOVÁ, 2011). Když připravujeme pivo z kukuřice tradiční fermentací, zůstatek zearalenonu ve finálním výrobku je až 51 % z původního množství (MALÍŘ et al., 2001).

Z chemického hlediska je zearalenon lakton kyseliny  $\beta$ -resorcylové a existují i další jeho deriváty (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003). Je relativně stabilní sloučeninou, a proto se snadno přenáší do cereálních výrobků, navíc je lipofilní, a proto také přechází do rostlinných olejů (VELÍŠEK a HAJŠLOVÁ, 2009).



Obr. 9: Strukturální vzorec zearalenonu (MALÍŘ a OSTRÝ, 2011)

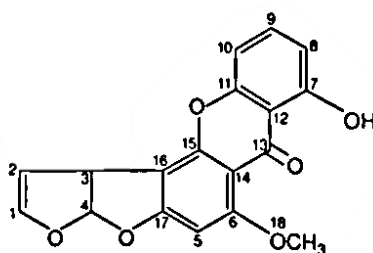
Patří mezi významné mykotoxiny člověka i dobytka (MAGAN et al., 2004). Akutní toxicita zearalenonu je velmi nízká, avšak vykazuje anablické a estrogenní účinky. Hyperestrogenní syndrom může vznikat při příjmu zearalenonu potravou. Není považován za karcinogen člověka (VELÍŠEK a HAJŠLOVÁ, 2009). Po jeho požití dochází k rychle a rozsáhle absorpci a může také přecházet do mléka zvířat (BRIMER, 2011). Způsobuje také intoxikaci malých dětí a plodů, které byly vystaveny působení této estrogenní sloučeniny. To může vést k předčasnému vývoji druhotných pohlavních znaků. Také je možné, že snižují mužskou plodnost (HEREDIA a WESLEY a GARCÍA, 2009).

Vědecký výbor pro potraviny stanovil prozatímni tolerovaný denní příjem zearalenonu na 0,2  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Maximální limity byly nastaveny pro nezpracované obiloviny na 100  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , pro nezpracovanou kukuřici a kukuřici určenou ke přímé

lidské spotřebě, kukuřičnou mouku, krupici, klíčky a rafinovaný olej na  $200 \mu\text{g.kg}^{-1}$ . Pro obiloviny určené k přímé lidské spotřebě, mouku, otruby a klíčky  $75 \mu\text{g.kg}^{-1}$ . Pečivo a snídaňové cereálie z obilovin i z kukuřice má maximální limit  $50 \mu\text{g.kg}^{-1}$ . Obilné a kukuřičné příkrmy pro malé děti kojence  $20 \mu\text{g.kg}^{-1}$  (NAŘÍZENÍ KOMISE (ES) č. 1881/2006).

### 3.3.5.7 *Sterigmatocystin*

Řadí se mezi mykotoxiny produkované rodem *Aspergillus*, především *A. versicolor* a *A. flavus*. Považuje se za prekurzor aflatoxinu B<sub>1</sub>, má podobnou strukturu (MAGAN et al., 2004). K dalším producentům sterigmatocystinu (STC) patří rody *Monocillium*, *Cheatomium*, *Bipolaris* a *Penicillium* (KALHOTKA, 2014). Výskyt byl prokázán v plesnivých cereáliích, živočišných produktech (šunka, tvrdé sýry, salám) a v kávových zrnech (VELÍŠEK a HAJŠLOVÁ, 2009). Je také hlášen jako kontaminant vyskytující se v marihuaně (WEIDENBÖRNER, 2001). Dále také v arašidech, pивě a v koření (HOSSAIN a GOTO, 2014). Jak uvádí Malíř a Ostrý (2003), nalézt jej můžeme také ve snídaňových cereáliích a cornflakes. Z chemického hlediska jde o látku s xanthonovou skupinou, která je navázána na dihydrodifuran nebo tetrahydrodifuran. Sterigmatocystin má velmi podobné toxické účinky jako aflatoxin, což vyplývá z toho, že je meziproduktem při biosyntéze aflatoxinu.



Obr. 10: Strukturální vzorec sterigmatocystinu (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003)

Vyazuje silnou akutní toxicitu a patří mezi pravděpodobné lidské karcinogeny, způsobuje nádory jater (VELÍŠEK a HAJŠLOVÁ, 2009). Podle Hossaina a Gota (2014) působí také genotoxicky. Také u něj byly prokázány antibiotické účinky na bakterie, kvasinky a myceliové houby (BETINA, 1990). Obilí je STC obvykle napadáno během skladování, transportu a zpracování (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003).

V současnosti nejsou v žádné zemi přijaty limity regulující obsah STC v potravinách. Před vstupem České republiky do EU existoval limit pro sterigmatocystin 5–20  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Evropský úřad pro bezpečnost potravin (EFSA) doporučil, aby se shromáždilo více dat o výskytu STC v potravinách a krmivech, vzhledem k nedostatku informací o jeho výskytu a riziku spojeným s příjmem (HOSSAIN a GOTO, 2014).

### 3.3.5.8 T-2 toxin

Jedná se o mykotoxin produkovaný některými kmeny rodu *Fusarium* (nejčastěji *F. poae* a *F. equiseti*) a patří do skupiny trichothecenů skupiny A, to znamená, že nemají na C-8 oxoskupinu (VELÍŠEK a HAJŠLOVÁ, 2009). Optimální teplota pro produkci je 8–14 °C (BRIMER, 2011). Je velmi obvyklým kontaminantem rostlinných krmiv, avšak v potravinách se moc často nevyskytuje. Jeho přítomnost však byla potvrzena v ječmeni, ovsu, pšenici, žitu, kukuřici, pивě a kořeni (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003).

T-2 toxin má vysokou akutní toxicitu (VELÍŠEK a HAJŠLOVÁ, 2009). Způsobuje nekrózu kůže, má emetické účinky (BETINA, 1990). Dále také způsobuje nevolnost, závratě, zimnice a bolesti břicha (BRIMER, 2011). Považuje se za pravděpodobného původce alimentární toxické aleukie (ATA). Symptomy tohoto onemocnění jsou zvracení, sepse, horečka, záněty trávicího traktu, snížení počtu bílých krvinek a smrt (CALVO, 2005). Nemoc se u lidí projevila po požití plesnivých zrn v mnoha oblastech Ruska, především během druhé světové války (EGMOND, 1989). Míra úmrtnosti byla až 80 % (BRIMER, 2011). Popsány také byly jeho imunosupresivní účinky. Můžeme jej zařadit mezi možné karcinogeny lidí (CALVO, 2005). EGMOND (1989) píše, že T-2 toxin nepřitahoval pozornost jenom jako mykotoxin objevující se v potravinách, ale také jako údajná biologická zbraň, tzv. „yellow rain“, v Jihovýchodní Asii.

Při výrobě sladu z ječmene se obsah T-2 toxinu při namáčení sníží o 80–100 % a během klíčení opět vzroste až o 50 %, proto takový slad obsahuje většinou méně T-2 toxinu než původní ječmen (STEJSKAL a FRÝDOVÁ, 2011). Tolerovaný denní příjem T-2 toxinu byl stanoven na 0,06  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  tělesné hmotnosti. Maximální limity pro nezpracované obiloviny a výrobky z nich nebyly doposud stanoveny. Je však třeba vyvinout spolehlivou a citlivou metodu detekce a shromáždít větší množství informací o výskytu T-2 toxinu v těchto potravinách (NAŘÍZENÍ KOMISE (ES) č. 1881/2006).

### 3.3.5.9 *Alternáriové mykotoxiny*

Do této skupiny mykotoxinů patří alternarioly, altertoxiny a kyselina tenuazonová a jsou produkovány vláknitými mikromycety z rodu *Alternaria* (*A. alternata*). Tyto plísně kontaminují rostliny a způsobují, tzv. černou hnilobu plodin (VELÍŠEK a HAJŠLOVÁ, 2009). Výskyt alternáriových mykotoxinů byl prokázán v jablkách, rajčatech, pšenici, ovsu, žitu, řepce, mandarinkách a melounech (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003). Stopy těchto toxinů bývají často nalézány v rajčatových protlacích a kečupech. Rozdělují se do tří skupin podle struktury. Do první skupiny (deriváty dibenzopyronu) patří alternariol a altenuen, do druhé skupiny (deriváty perylenu) altertoxin I–III a do třetí skupiny (deriváty tetramové kyseliny) tenuazonová kyselina (VELÍŠEK a HAJŠLOVÁ, 2009).

Nejvyšší akutní toxicitu má kyselina tenuazonová. Způsobuje anorexii, křeče, tachikardii, inhibuje syntézu proteinů, může způsobit kardiovaskulární kolaps a smrt (KALHOTKA, 2014). Altertoxiny jsou také vysoce toxické, ale jsou produkovány v menších množstvích, a proto nejsou pro člověka tak nebezpečné. Mají však mutagenní a cytotoxické účinky (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003). Alternariol vykazuje teratogenitu a také cytotoxické účinky (VELÍŠEK a HAJŠLOVÁ, 2009).

### 3.3.5.10 *Kyselina cyklopiazonová*

K objevu kyseliny cyklopiazonové (CPK) došlo roku 1968 (ŠIMŮNEK, 2003). Po chemické stránce jde o indolovou sloučeninu, která dává s Ehrlichovým činidlem barevnou reakci (ŠIMŮNEK, 2003). Vyskytuje se v materiálech napadených rody *penicillium* (*P. camemberti*, *P. commune*) a *aspergillus* (*A. flavus*, *A. versicolor*) (BETINA, 1990). Mnohdy ji můžeme nalézt v materiálech, které jsou kontaminovány také aflatoxiny. Mezi potraviny, které jsou často kontaminovány CPK patří kukuřice, arašídý, slunečnicová semena, ale také výrobky s bílou plísní na povrchu (VELÍŠEK a HAJŠLOVÁ, 2009). U kulturních plísní *Penicillium camemberti* používaných k výrobě sýrů camembertského typu bylo prokázáno, že většina sbírkových kmenů CPK produkuje (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003). Avšak CPK je toxická až při vysokých dávkách, takže při konzumaci normálního množství sýra se nepřekročí doporučené denní množství CPK (GÖRNER a VALÍK, 2004). Při nedodržení správné technologie výroby plísňových sýrů může dojít k masivnímu vzestupu koncentrace CPK. Objevit se také

může v sýrech tavených, kam se dostane pomocí plesnivých odkrojků (ŠIMŮNEK, 2003). Společně s aflatoxiny patří k přirozeně se nalézajícím kontaminantům kukuřice a arašídů (MAGAN et al., 2004). Po přijetí CPK zvířetem se přenáší do mléka ovcí, může se nacházet také ve vejcích a drůbežím mase (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003).

Tento mykotoxin funguje jako specifický inhibitor  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPasy v myocytech. Řadí se mezi možné karcinogeny a u zvířat způsobuje nekrózu jater a svalů. Tyto negativní účinky vykazuje až při vyšších dávkách (VELÍŠEK a HAJŠLOVÁ, 2009). Jsou známy také mutagenní účinky na bakterii *Salmonella typhimurium* (MAGAN et al., 2004).

### **3.4 Prevence vzniku a výskytu mykotoxinů v potravinách**

Vláknité mikromycety jsou nedílnou součástí životního prostředí a jejich přítomnost v plodinách je ovlivněna řadou špatně kontrolovatelných faktorů. Sekundární kontaminace potravin může nastat kdykoliv během výroby potravin, tzn. od doby, kdy jsou plodiny ještě na poli až po konzumaci jídla spotřebitelem (SUCHÝ a HERZIG, 2005). Nejeefektivnějším způsobem obrany vůči vzniku mykotoxinů, je systém prevence vzniku a výskytů vláknitých mikromycetů a mykotoxinů v potravinách. Ten je založen především na vytváření takových podmínek, aby byl plísním znemožněn růst (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003). Zemědělci by měli používat vhodná agrotechnická opatření, tzn. střídání kulturních plodin v osevních postupech, výběr správných odrůd, protiplísňové ošetření osiv, aplikace hnojiv a fungicidů, boj proti plevelům a škůdcům, sklizení plodin v době vhodné zralosti, zabránění mechanickému poškození zrna, dále plodiny skladovat v suchých a chladných podmínkách (SUCHÝ a HERZIG, 2005). Skladovací vlhkost by pro obilná zrna měla být max. 13 %, pro sóju méně než 12 % a pro semena s vysokým podílem lipidů méně než 7 %. Ideální skladovací teplota by měla být nižší než 4 °C. Pokud zabráníme přístupu kyslíku, snížíme tím růst plísní a produkci mykotoxinů (WIEDENBÖRNER, 2001). Dále je vhodné v skladovacích prostorech zajistit provzdušnění a teplotu a vlhkost periodicky kontrolovat. Také by měli vyřadit kontaminované plodiny ještě před skladováním. Chovatelé zvířat by také měli zjišťovat případnou kontaminaci krmiva, a pokud krmivo obsahuje mykotoxiny přistoupit k jejich dekontaminaci (MALÍŘ et al., 2001). Zemědělci a především výrobci by měli zabránit sekundární kontaminaci, nezkrmovat zaplísňená krmiva, používat HACCP a kontrolovat potraviny dovážené z rizikových oblastí světa, což jsou tropy

a subtropy. Spotřebitel by se měl zaměřit na nákup pouze jakostních potravin bez sensorických změn, nakupovat potraviny v přiměřeném množství, dále se nedotýkat nebalených potravin holou rukou. V neposlední řadě by měl potraviny uchovávat podle doporučení výrobce a nikdy nekonzumovat plesnivé potraviny ani po odkrojení plesnivé části a také takto znehodnocenými potravinami nekrmit hospodářská zvířata. Také by měl v domácnosti uchovávat pořádek, uklízet, pravidelně vynášet odpadky a dodržovat základní hygienická pravidla při práci s potravinami (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003).

### 3.5 Detoxikace a dekontaminace

Mykotoxiny jsou strukturně, ale také z hlediska fyzikálních a chemických vlastností odlišné od vláknitých mikromycetů, a proto je třeba volit jiné, specifické formy jejich dekontaminace, a také nestačí odstranit pouze plísň (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003). Detoxikace a dekontaminace je založena na rozkladu a inaktivaci příslušných mykotoxinů, žádoucí je nejen pokles původního mykotoxinu, ale také zabránění vzniku toxických produktů. Zároveň by nemělo docházet k výraznému poklesu nutričních hodnot (VELÍŠEK a HAJŠLOVÁ, 2009). Jak uvádí Suchý a Herzig (2005), je třeba zabývat se dekontaminačními metodami, protože neexistují stoprocentně spolehlivé metody prevence jejich vzniku. Většina metod používaných k detoxikaci je drahých anebo zanechávají v potravinách rezidua, která brání jejich dalšímu využití (VONDRÁŠKOVÁ, 2011). Podle Velíška a Hajšlové slouží nejen k ochraně zdraví konzumentů a hospodářských zvířat ale také k zabránění vzniku ekonomických ztrát. Používají se tři základní metody detoxikace, a to fyzikální, chemické a biologické. Fyzikální metody rozdělujeme následovně.

- Mechanické třídění – je založeno na odstraňování napadených částic (VELÍŠEK a HAJŠLOVÁ, 2009). Suchý a Herzig (2005) navíc tvrdí, že odstraněním nečistot ze skladovacích a technologických prostorů a také vyjmutí malých a svařtělých zrn se snížil celkový obsah mykotoxinů v kukuřici o 32 %.
- Inaktivace teplem – tepelný záhřev způsobuje ve většině případů snížení hladiny mykotoxinů. Avšak aflatoxiny jsou velmi termostabilní a k jejich výraznému snížení dochází až při 200 °C. Mezi velice termostabilní mykotoxiny patří také zearalenon a námelové mykotoxiny (VELÍŠEK a HAJŠLOVÁ, 2009). Na druhou stranu podle Suchého a Herziga (2005) mezi termolabilní mykotoxiny



patří citrinin a patulin. Tepelné inaktivaci patulinu však brání vitamin C, protože toxin tepelně stabilizuje i při sterilizaci. Termostabilita aflatoxinů, DON, zearalenonu a OTA je dána tím, že jejich molekula je bezvodá.

- Extrakce rozpouštědly – aflatoxiny z olejninových šrotů jsou extrahovány pomocí organických rozpouštědel, např. aceton a ethanol. Tento způsob dekontaminace je velice ekonomicky náročný a také ochuzuje šrot o živiny a může ovlivnit jejich senzorycké vlastnosti. Rezidua aflatoxinů ze surových olejů jsou odstraněny při rafinaci.
- Adsorpce – používají se různé sorbenty pro odstranění mykotoxinů, např. hydratovaný hlinitokřemičitan vápenatý nebo bentonit. Tyto látky se používají zejména při odstraňování mykotoxinů z mléka, smetany a podzemnicového oleje, ale mohou se také přidávat rovnou do krmiv hospodářských zvířat. Poté mohou imobilizovat mykotoxiny přímo v trávicím traktu zvířat, není však jasné zda při použití těchto chemisorbentů nedochází k snížení příjmu esenciálních minerálních látek a vitamínů rozpustných ve vodě (VELÍŠEK a HAJŠLOVÁ, 2009). Suchý a Herzig (2005) poukazují na to, že účinnost sorbentů je závislá nejen na adsorbční kapacitě, molekulární stavbě a čistotě, ale také na druhu mykotoxinu. Hlinitokřemičitan se využívá pro adsorpci aflatoxinů, zearalenonu a trichothecenů skupiny B, např. DON.
- Záření – ultrafialové a ionizující záření je u aflatoxinů velice efektivní, ale vede k znehodnocování nutričních látek (SUCHÝ a HERZIG, 2005). Podle studie z roku 1976 působením ultrafialového záření dochází k fotoreakci, která mění chemickou strukturu tohoto mykotoxinu. Takto ozářené aflatoxiny projevují zanedbatelnou mutagenitu v porovnání s neozářenými aflatoxiny (KLEINWÄCHTER a KOUKALOVÁ, 1976). K podobným závěrům došla studie z roku 2014, která testovala působení UV záření na arašídový olej kontaminovaný AFB<sub>1</sub>. Podle ní došlo k snížení množství AFB<sub>1</sub> o 86,08 % za 10 minut působení záření ve fotodegradačním reaktoru. Účinnost se poté testovala na mutagenitě rodu *Salmonella typhimurium*. Množství zbytkového AFB<sub>1</sub> bylo menší, než stanovují legislativní limity (DIAO et al., 2014).

Chemické metody využívají možnosti chemické degradace mykotoxinů (VELÍŠEK a HAJŠLOVÁ, 2009). Nejčastěji se k dekontaminaci substrátů používá kapalný

amoniak a k dekontaminaci laboratorního skla chlornan sodný s louhem (ŠIMŮNEK, 2003). Využívat se také může peroxid vodíku. Chlornan sodný a peroxid vodíku mají tu nevýhodu, že způsobují oxidaci ošetřovaných materiálů. Oxid siřičitý částečně degraduje AFB<sub>1</sub> a AFG<sub>1</sub> a rozkládá patulin (VELÍŠEK a HAJŠLOVÁ, 2009). Používá se také extrakce organickými rozpouštědly, jako jsou chlorid vápenatý a bikarbonát sodný. K účinným způsobům dekontaminace zařazuje Suchý a Herzig (2005) také čpavkování, které rozkládá především aflatoxiny. Ozón navíc snížil obsah AFB<sub>1</sub> v kukuřici až o 95 % po 92 hodinách působení.

Biologické metody, tzv. biotransformace či biodegradace účinkem enzymů. Vznikající metabolity jsou buď toxicky nezávadné, nebo jsou méně toxické než původní toxin. Využívanými mikroorganismy jsou bakterie rodu *Flavobacterium aurantiacum* nebo některé plísňe rodu *Rhizopus*. Výhodou biologických metod je to, že se nepoužívají agresivní činidla, která by zhoršovala kvalitu detoxikovaného materiálu, ale také se zlepší stravitelnost a využití proteinů. Metoda využívající mikroflóru střevního traktu monogastričních zvířat přinesla výsledky při detoxikaci trichothecenů (VELÍŠEK a HAJŠLOVÁ, 2009). Využívají se také bakteriální kultury laktobacilů, které mají schopnost vázat trichotheceny a aflatoxiny. Vlákna přidaná do krmiva zvířat váže část zearalenonů a T-2 toxinů. Patulin je rozkládán kvasinkami rodu *Saccharomyces* při alkoholovém kvašení. Novější postupy využívají enzymy pro inaktivaci zearalenonu, T-2 toxin, DON a fungují na principu rozkladu molekuly na zdraví neškodné metabolity (SUCHÝ a HERZIG, 2005).

Dekontaminace v domácnostech je takřka neuskutečnitelná, proto je nelepším řešením napadenou potravinu vyhodit. Odkrajování napadených částí nemá většinou smysl. To platí především z toho důvodu, že mykotoxiny difundují do celého objemu potravin. V kapalných a rosolovitých potravinách jako jsou džemy a kompoty dochází k šíření ještě mnohem rychleji, a proto je v celém obsahu koncentrace mykotoxinů stejná (ŠIMŮNEK, 2003).

Detoxikace ploch se provádí většinou chemickými metodami, a to za použití chlornanu sodného, ten působí na aflatoxiny, OTA, fumonisin B<sub>1</sub>, T-2 toxin a citrinin. Manganistan draselný v alkalickém prostředí účinkuje na patulin a 4% roztok detergentu RBS-35 (Fluka) při teplotě 50 °C ničí AFB<sub>1</sub>, OTA a fumonisin B<sub>1</sub> (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003).

## 4 ZÁVĚR

Plísně jsou nedílnou součástí životního prostředí, proto je třeba počítat s tím, že za vhodných podmínek při růstu, sklizni, skladování, přepravě a technologickém zpracování může docházet k jejich nárůstu na potravinách a k produkci mykotoxinů. Hlavními příčinami vzniku a rozvoje vláknitých mikromycetů jsou: špatná agrotechnická opatření, sklízení vlhkých a nevyzrálých plodin, zvýšená vlhkost a teplota během skladování. V neposlední řadě mohou mykotoxiny vznikat také u spotřebitelů doma. Vhodné podmínky pro produkci mykotoxinů představuje teplota 4–40 °C, pH v rozmezí 5–7, aktivita vody minimálně 0,8–0,85 a přítomnost kyslíku.

Vláknité mikromycety kontaminují především obiloviny, a protože obiloviny představují nejpodstatnější část vyprodukovaných potravin, míra kontaminace celosvětové produkce dosahuje až 25 %, což přináší také velké ekonomické ztráty. Poté mohou růst také na ovoci a zelenině a na dalších plodinách. Vyskytovat se však mohou i na potravinách živočišného původu. Ve všech těchto surovinách nebo potravinách mohou produkovat sekundární metabolity – mykotoxiny.

Mykotoxiny patří k velmi nebezpečným chemickým kontaminantům potravin, jelikož jsou vysoce toxické jak ve vysokých jednorázových dávkách, tak i při dlouhodobém požívání nízkých koncentrací. V dnešní době se akutní mykotoxikózy vyskytují jen výjimečně a spíše v zemích Afriky a Asie. Daleko větší pozornost je věnována pozdním toxickým účinkům. Teratogenním, mutagenním, karcinogenním a imunosupresivním, účinkům, vyvolaných dlouhodobým příjmem nízkých dávek.

Nejvíce toxický je aflatoxin B<sub>1</sub>. Ten vykazuje také nejvyšší karcinogenitu. Avšak plísně rodu *Aspergillus flavus* a *Aspergillus parasiticus*, které aflatoxin B<sub>1</sub> produkují, se uplatňují především v tropickém a subtropickém klimatu. Spousta potravin, jako jsou skořápkové plody, koření a obiloviny, se však z těchto zemí vyváží, a proto je nesmírně důležité kontrolovat tyto produkty na přítomnost a obsah mykotoxinů. V Evropě kontaminuje suroviny a potraviny spíše deoxynivalenol, který je produkován v mírném pásu vláknitými mikromycety rodu *Fusarium*.

Působení mykotoxinů se můžeme vyhnout jen používáním správných preventivních opatření zabraňujících jejich vzniku a výskytu. Samozřejmě, že nejideálnějším preventivním opatřením vzniku mykotoxinů by bylo, aby plísně suroviny a potraviny vůbec kontaminovat nemohly. Toho však nelze dosáhnout, protože vláknité

mikromycety jsou všudypřítomné a navíc jsou potřebné, jelikož jsou důležitou součástí koloběhu živin a energie v přírodě. Základním preventivním opatřením proti výskytu mykotoxinů je: správná praxe a kontrola v prvovýrobě, používání pouze jakostních, plísněmi neznehodnocených surovin pro výrobu potravin, zabránění sekundární kontaminaci potravin vhodnými obalovými materiály a skladováním.

V roce 2014 bylo v České republice zachyceno pomocí systému RASFF, sedm potravin nebo krmiv, kontaminovaných nebezpečným množstvím mykotoxinů, a to aflatoxiny v krmivu pro papoušky, v pistáciích, v syrovém mléce a sýru mozzarella, v para ořeších a v loupaných arašidech, dále pak deoxynivalenol v kukuřičné strouhance a ochratoxin A v rozinkách. Oproti tomu v minulých letech byl výskyt nadlimitních množství mykotoxinů v potravinách spíše častější. V roce 2013 zachytil RASFF devět potravin obsahujících velké množství mykotoxinů. Byly to aflatoxiny, které byly obsaženy v pistáciích, v sušených ficích, v rýži basmati a v kukuřičném krmivu. Ochratoxin A byl nalezen v mleté paprice a rozinkách. V roce 2012 bylo hlášeno pouze pět případů potravin, které obsahovaly větší než povolené množství mykotoxinů. Aflatoxiny byly nalezeny v mandlích, chilli koření a rýži basmati, ochratoxin A byl přítomen v lékořicovém kořenu a bio obilné kaši pro děti. V roce 2011 došlo k záchytu 16 potravin kontaminovaných nadlimitním množstvím mykotoxinů. Aflatoxiny byly zastoupeny osmi případy, a to v různých skořápkových plodech a v chalvě s pistáciemi. Dalším přítomným mykotoxinem byl ve čtyřech potravinách deoxynivalenol. Byl nalezen v těstovinách a sušenkách, v mouce na výrobu těstovin a ve výrobcích, které obsahovaly ovesné vločky. Zaznamenán byl také ochratoxin A, a to ve ficích a dvakrát v rozinkách. V roce 2010 se u nás řešilo 16 případů. Z toho 13 obsahovalo aflatoxiny, a to v různých skořápkových plodech, v koření a dokonce v cereální dětské výživě. Ochratoxin A byl přítomen ve třech případech. Nacházel se v kávě, rozinkách a jáhlách. Z těchto údajů vyplývá, že v posledních pěti letech se snižovalo množství zachycených potravin, které obsahovaly nepovolené množství mykotoxinů. Obdobný stav je i v celé EU, kde z počtu 688 potravin s nadlimitním množstvím mykotoxinů zachycených v roce 2010 došlo k snížení na 383 v roce 2014.

Pro většinu mykotoxinů existují hodnoty tolerovaného denního příjmu, které při celoživotní denní konzumaci nevyvolají negativní zdravotní účinek. Na základě těchto hodnot byly vypracovány legislativní limity, které musí být v daných potravinách dodržovány. Nejpřísnější limity platí pro kojeneckou stravu a příkrmy a pokrmy určené

pro malé děti a také pro dietní potraviny určené pro zvláštní léčebné účely. Tyto legislativní limity nebývají často překračovány, avšak je důležité i nadále provádět přísné kontroly. Také by bylo vhodné mykotoxiny dále zkoumat a sledovat jejich vzájemné působení na organismus lidí i zvířat.

## 5 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

ANON, 2011: *Systém rychlého varování pro potraviny a krmiva RASFF*. In Státní zemědělská a potravinářská inspekce. [online]. [cit. 2015-04-04]. Dostupné z: <http://www.szpi.gov.cz/docDetail.aspx?docid=1002819&nid=11414>.

BARKAI-GOLAN, Rivka a Nachman PASTER, 2008: *Mycotoxins in Fruits and Vegetables*. [online]. Elsevier [cit. 2015-04-01]. [395 p.] ISBN 978-008-0557-854. Dostupné z: <http://site.ebrary.com/lib/mendelu/detail.action?docID=10229403>.

BĚLÁKOVÁ, Sylvie, Karolína BENEŠOVÁ, Renata MIKULÍKOVÁ a Zdeněk SVOBODA, 2015: Výskyt ochratoxinu A v pivech. *Kvasný průmysl*. [online]. sv. 61, č. 2, s. 34 – 37. [cit. 2015-04-01] ISSN 0023-5830. Dostupné z: <http://www.kvasnyprumysl.cz/download.php?clanek=2352>.

BETINA, Vladimír a Ľubomír VALÍK, 1990: *Mykotoxíny: Chémia - biológia - ekológia*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 284 s. ISBN 80-050-0631-4.

BELITZ, Hans-Dieter, Werner GROSCHE a Peter SCHIEBERLE, 2009: *Food chemistry*. 4th, rev. and ex. ed. Heidelberg: Springer, 1070 s. ISBN 978-3-540-69933-0.

BRIMER, Leon, 2011: *Chemical food safety*. Oxfordshire: CABI, p. 151-163. ISBN 978-1-84593-676-1.

CALVO, Ana M., Mycotoxins. In: DĄBROWSKI, Waldemar M. a Zdzisław E. SIKORSKI, 2005: *Toxins in food*. 1. vyd. Boca Raton, FL: CRC Press, p. 215 – 235. ISBN 08-493-1904-8.

DIAO, Enjie, Xiangzhen SHEN, Zheng ZHANG, Ning JI, Wenwen MA a Haizhou DONG, 2014: Safety evaluation of aflatoxin B 1 in peanut oil after ultraviolet irradiation detoxification in a photodegradation reactor. *International Journal of Food Science & Technology* [online]. 2014, vol. 50, issue 1, s. 41-47 [cit. 2015-04-04]. Dostupné z DOI: 10.1111/ijfs.12648.

DOSTALÍKOVÁ, Markéta, 2014: Systém rychlého varování pro potraviny a krmiva RASFF v ČR, Rok 2014. In Informační centrum bezpečnosti potravin. [online]. [cit. 2015-04-06]. Dostupné z: [http://www.bezpecnostpotravin.cz/UserFiles/RASFF/RASFF%20v%20roce%202014\\_CR\\_akt.18.07.\\_prehled%20hlaseni.pdf](http://www.bezpecnostpotravin.cz/UserFiles/RASFF/RASFF%20v%20roce%202014_CR_akt.18.07._prehled%20hlaseni.pdf).

EGMOND, Hans P., 1989: *Mycotoxins in dairy products*. London: Elsevier Applied Science, 272 s.

GÖRNER, Fridrich a Lubomír VALÍK, 2004: *Aplikovaná mikrobiológia požívatin: princípy mikrobiológie požívatin, potravinársky významné mikroorganizmy a ich skupiny, mikrobiológia potravinárskych výrob, ochorenia mikrobiálneho povodu, ktorých zárodky sú prenášané požívatinami*. 1. vyd. Bratislava: Malé centrum, 528 s. ISBN 80-967-0649-7.

HEREDIA, Norma a Irene WESLEY a Santos GARCÍA, 2009: *Microbiologically safe foods*. N. J.: John Wiley & Sons, p. 37-40, 318-330. ISBN 978-0-470-05333-1.

HOSSAIN, Z. A T. GOTO, 2014: Determination of sterigmatocystin in grain using gas chromatography-mass spectrometry with an on-column injector. *Mycotoxin Research* [online], vol. 31, issue 1, s. 17-22 [cit. 2015-03-23]. Dostupné z DOI: 10.1007/s12550-014-0214-2.

CHUMCHALOVÁ, Jana, Miroslav NĚMEC, Ludmila TVRZOVÁ, Zdena PÁČOVÁ, Dana SAVICKÁ, Alena KUBÁTOVÁ a Petra PATÁKOVÁ, [2006a]: *Miniatlas mikroorganizmů*. [online] Brno: Masarykova Univerzita. [cit. 2015-03-18] Dostupné z: [http://is.muni.cz/do/rect/el/estud/prif/ps06/mikroorg/web/images/plisne/perokresby/Aspergillus\\_flavus\\_nakres.jpg](http://is.muni.cz/do/rect/el/estud/prif/ps06/mikroorg/web/images/plisne/perokresby/Aspergillus_flavus_nakres.jpg).

CHUMCHALOVÁ, Jana, Miroslav NĚMEC, Ludmila TVRZOVÁ, Zdena PÁČOVÁ, Dana SAVICKÁ, Alena KUBÁTOVÁ a Petra PATÁKOVÁ, [2006b]: *Miniatlas mikroorganizmů*. [online] Brno: Masarykova Univerzita. [cit. 2015-03-18] Dostupné z: [http://is.muni.cz/do/rect/el/estud/prif/ps06/mikroorg/web/images/plisne/kolonie/Aspergillus\\_flavus\\_CCF\\_3056\\_CYA\\_14-25.jpg](http://is.muni.cz/do/rect/el/estud/prif/ps06/mikroorg/web/images/plisne/kolonie/Aspergillus_flavus_CCF_3056_CYA_14-25.jpg).

CHUMCHALOVÁ, Jana, Miroslav NĚMEC, Ludmila TVRZOVÁ, Zdena PÁČOVÁ, Dana SAVICKÁ, Alena KUBÁTOVÁ a Petra PATÁKOVÁ, [2006c]: *Miniatlas mikroorganizmů*. [online] Brno: Masarykova Univerzita. [cit. 2015-03-18] Dostupné z: [http://is.muni.cz/do/rect/el/estud/prif/ps06/mikroorg/web/images/plisne/perokresby/Fusarium\\_culmorum\\_nakres.jpg](http://is.muni.cz/do/rect/el/estud/prif/ps06/mikroorg/web/images/plisne/perokresby/Fusarium_culmorum_nakres.jpg).

CHUMCHALOVÁ, Jana, Miroslav NĚMEC, Ludmila TVRZOVÁ, Zdena PÁČOVÁ, Dana SAVICKÁ, Alena KUBÁTOVÁ a Petra PATÁKOVÁ, [2006d]: *Miniatlas mikroorganismů*. [online] Brno: Masarykova Univerzita. [cit. 2015-03-18] Dostupné z: [http://is.muni.cz/do/rect/el/estud/prif/ps06/mikroorg/web/images/plisne/kolonie/Fusarium\\_culmorum\\_CCF\\_3229\\_PGA\\_14-25.jpg](http://is.muni.cz/do/rect/el/estud/prif/ps06/mikroorg/web/images/plisne/kolonie/Fusarium_culmorum_CCF_3229_PGA_14-25.jpg).

KALHOTKA, Libor, 2014: *Mikromycety v prostředí člověka: vláknité mikromycety (plísně) a kvasinky*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2014, 77 s. ISBN 978-80-7375-943-8.

KLEINWÄCHTER, Vladimír a Blažena KOUKALOVÁ, 1976: *Účinek ultrafialového záření na biologické vlastnosti aflatoxinů*. Brno: Technické museum, s. 48-52.

KOMPRDA, Tomáš, 2004: *Obecná hygiena potravin*. dotisk 2007. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 148 s. ISBN 978-80-7157-757-7.

KŘEPELKA, Jiří, 2012: Kvalita objemných krmiv a mykotoxiny. In *Zemědělec* [online]. 19. 10. 2012. [cit. 2014-04-05]. Dostupné z: <http://zemedelec.cz/kvalita-objemnych-krmiv-a-mykotoxiny/>.

KUBÁTOVÁ, Alena, 2006: *Atlas mikroskopických saprotrofních hub (Ascomycota)*. [online]. Praha: Přírodovědecká fakulta UK. [cit. 2015-03-20]. Dostupné z: <https://www.natur.cuni.cz/biologie/botanika/veda-a-vyzkum/atlas-mikroskopicky-ch-saprotrofnich-hub-ascomycota/3-05-eurotiales-pen-subg-asp.pdf>.

KUCHARSKA, Elżbieta, Epidemiological and Medical Impact of toxins in food. In: DĄBROWSKI, Waldemar M. a Zdzisław E. SIKORSKI, 2005: *Toxins in food*. 1. vyd. Boca Raton, FL: CRC Press, p. 336 – 343. ISBN 08-493-1904-8.

MAGAN, Naresh a Monica OLSEN, 2004: *Mycotoxins in food: detection and control*. 1st ed. Cambridge: Woodhead Publishing, xvi, 471 s. ISBN 1-85573-733-7.

MALÍŘ, František, Vratislav PSOTA, Tomáš ROUBAL, Jan SEVERA, Jan MAREČEK a Květoslav HUBÍK, 2001: Plísně a mykotoxiny v cereáliích a pivovarských surovinách, zásady způsobu odběru vzorků ke stanovení mykotoxinů. *Kvasný průmysl*. sv. 47, č. 6, s. 172-173. ISSN 0023-5830.



MALÍŘ, František, Vladimír OSTRÝ, Marcela DOFKOVÁ, Tomáš ROUBAL, Vladimír DVOŘÁK a Vlastimil DOHNAL, 2015: A levels in blood serum of Czech women in the first trimester of pregnancy and its correspondence with dietary intake of the mycotoxin contaminant. *Biomarkers* [online]. 2013, vol. 18, issue 8, s. 673-678 [cit. 2015-04-04]. Dostupné z DOI: 10.3109/1354750x.2013.845609.

MALÍŘ, František a Vladimír OSTRÝ, 2003: *Vláknité mikromycety (plísňe), mykotoxiny a zdraví člověka*. 1. vyd. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů v Brně, 349 s. ISBN 80-701-3395-3.

MATA, A. T., J. P. FERREIRA, B. R. OLIVEIRA, M. C. BATORÉU, M. T. Barreto CRESPO, V. J. PEREIRA a M. R. BRONZE, 2015: Bottled water: Analysis of mycotoxins by LC–MS/MS. *Food Chemistry* [online]. vol. 176, s. 455-464 [cit. 2015-03-16]. Dostupné z DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.12.088.

NAŘÍZENÍ KOMISE (ES) č. 1881/2006, kterým se stanoví maximální limity některých kontaminujících látek v potravinách. [online]. 20. 12. 2006 [cit. 2014-03-19]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:364:0005:0024:C S:PDF>.

OSTRÝ, Vladimír, 1998: *Vláknité mikroskopické houby (plísňe), mykotoxiny a zdraví člověka*. 1. vyd. Praha: Státní zdravotní ústav. 20 s. ISBN 80-7071-102-7.

OSTRÝ, Vladimír, 1999: *Mikromycety, mykotoxiny a zdraví člověka*. Časopis lékařů českých [online]. č. 17, s. 515-521 [cit. 2015-01-30]. Dostupné z: <http://www.prolekare.cz/casopis-lekaru-ceskych-clanek/mikromycety-mykotoxiny-a-zdravi-cloveka-26095>.

PERAICA, Maja a Darko RICHTER a Dubravka RAŠIĆ, 2014: Mycotoxicoses in children. *Archives of Industrial Hygiene and Toxicology* [online]. 2014, vol. 65, issue 4 [cit. 2015-04-01]. Dostupné z DOI: 10.2478/10004-1254-65-2014-2557.

PERRE, Evelien Van de, Liesbeth JACXSENS, Carl LACHAT, Fouad El TAHAN a Bruno De MEULENAER, 2015: Impact of maximum levels in European legislation on exposure of mycotoxins in dried products: Case of aflatoxin B1 and ochratoxin A in nuts and dried fruits. *Food and Chemical Toxicology* [online]. vol. 75, s. 112-117 [cit. 2015-03-16]. Dostupné z DOI: 10.1016/j.fct.2014.10.021.

PÜSSA, Tõnu, 2008: *Principles of food toxicology*. Boca Raton: CRC Press, 321 p. ISBN 0-8493-8090-1.

STEJSKAL, V. a B. FRÝDOVÁ, 2011: *Chemické a biologické kontaminanty v potravinách a zemědělských komoditách: aktuální problémy* [online]. Ministerstvo zemědělství České republiky, [cit. 2015-03-23]. Dostupné z: [http://www.phytopsanitary.org/seminare/VVF-sbornik-2011\\_screen.pdf](http://www.phytopsanitary.org/seminare/VVF-sbornik-2011_screen.pdf).

SUCHÝ Pavel a Ivan HERZIG, [2005]: *Plísně a mykotoxiny : Prevence jejich vzniku a dekontaminace v krmivech*. [online]. Brno: VFU FVL. [cit. 2015-03-10]. 24 s. Dostupné z: [http://www.bezpecna-krmiva.cz/soubory/2-studie\\_prof\\_suheho.rtf](http://www.bezpecna-krmiva.cz/soubory/2-studie_prof_suheho.rtf).

ŠILHÁNKOVÁ, Ludmila a Vladimír OSTRÝ, 2002: *Mikrobiologie pro potravináře a biotechnology*. 3. oprav. a dopl. vyd. Praha: ACADEMIA, 363 s. ISBN 80-200-1024-6.

ŠIMŮNEK, Jan, 2003: *Mykotoxiny* [online]. únor 2003. [cit. 2015-02-18]. Dostupné z: <http://www.med.muni.cz./prelek/MYKOTW/mtidx.htm>.

ŠOTTNÍKOVÁ, Viera a Olga CWIKOVÁ a Zdeněk SLONEK, 2010: *Změna hladiny mykotoxinů v průběhu skladování obilovin*. In Sborník XXXVI. Semináře o jakosti potravin a potravinových surovin - Ingrový dny. s. 258-261. ISBN 978-80-7375-384-9.

VELÍŠEK, Jan a Jana HAJŠLOVÁ, 2009: *Chemie potravin 2*. Rozš. a přeprac. 3. vyd. Tábor: OSSIS, s. 456-481. ISBN 978-80-86659-16-9.

VIEIRA, Tiago a Sara CUNHA a Susana CASAL, 2015: Analysis of the Mycotoxin Ochratoxin A in Coffee. In: PREEDY, Victor: *Coffee in Health and Disease Prevention*. [online]. s. 1023-1031 [cit. 2015-03-31]. Dostupné z DOI: 10.1016/B978-0-12-409517-5.00112-1.

VLKOVÁ, Eva, Vojtěch RADA a Jiří KILLER, 2009: *Potravinářská mikrobiologie*. 2. vyd. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 168 s. ISBN 978-80-213-1988-2.

VONDRÁŠKOVÁ, Šárka, 2011: *Mykotoxiny*. In: *Bezpečnost potravin* [online]. [cit. 2015-02-22]. Dostupné z: <http://www.bezpecnostpotravin.cz/mykotoxiny.aspx>.

WALSTRA, Pieter, Jan T. M. WOUTERS a Tom J. GEURTS, 2006: *Dairy science and technology*. 2nd ed. Boca Raton: CRC press, 2006, p. 91, 194, 675. ISBN 0-8247-2763-0.

WASSERBAUEROVÁ, Kateřina, 2011: *Mykotoxiny v silážích*. [online]. Bakalářská práce. Brno: MENDELU Brno. 53 s. [cit. 2015-02-22]. Dostupné z: [http://is.mendelu.cz/zp/portal\\_zp.pl?prehled=vyhledavani;podrobnosti=36978;zp=25792;download\\_prace=1](http://is.mendelu.cz/zp/portal_zp.pl?prehled=vyhledavani;podrobnosti=36978;zp=25792;download_prace=1).

WIEDENBÖRNER, Martin, 2001: *Encyclopedia of food mycotoxins*. Berlin: Springer, 289 s. ISBN 3-540-67556-6.

WOO, Chit Shing Jackson, Heidi PARTANEN, Päivi MYLLYNEN, Kirsi VÄHÄKANGAS a Hani EL-NEZAMI, 2012: Fate of the teratogenic and carcinogenic ochratoxin A in human perfused placenta. *Toxicology Letters* [online]. vol. 208, issue 1, s. 92-99 [cit. 2015-04-07]. Dostupné z DOI: 10.1016/j.toxlet.2011.10.013.

## 6 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: <i>Aspergillus flavus</i> – schéma (CHUMCHALOVÁ et al., 2006a).....	13
Obr. 2: <i>Aspergillus flavus</i> – kolonie (CHUMCHALOVÁ et al., 2006b) .....	14
Obr. 3: <i>Fusarium culmorum</i> – schéma (CHUMCHALOVÁ et al., 2006c).....	16
Obr. 4: <i>Fusarium culmorum</i> – kolonie (CHUMCHALOVÁ et al., 2006d) .....	16
Obr. 5: <i>Penicillium</i> – a) <i>Aspergiloides</i> , b) <i>Biverticillium</i> , c) <i>Furcatum</i> , d <sub>1</sub> -d <sub>4</sub> ) <i>Penicillium</i> (KUBÁTOVÁ, 2006).....	17
Obr. 6: Strukturální vzorec aflatoxinu B <sub>1</sub> (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003).....	27
Obr. 7: Strukturální vzorec OTA (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003).....	29
Obr. 8: Strukturální vzorec patulinu (BRIMER, 2011) .....	32
Obr. 9: Strukturální vzorec zearalenonu (MALÍŘ a OSTRÝ, 2011) .....	35
Obr. 10: Strukturální vzorec sterigmatocystinu (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003) .....	36

## 7 SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Vybrané potraviny, které mohou být nejčastěji kontaminované mykotoxiny (VLKOVÁ a RADA a KILLER, 2009).....	19
Tab. 2: Dělení mykotoxinů podle toxicity – kvalitativní (ŠIMŮNEK, 2003).....	21
Tab. 3: Dělení mykotoxinů podle chemické struktury (ŠIMŮNEK, 2003).....	21
Tab. 4: Dělení mykotoxinů podle způsobu biosyntézy (ŠIMŮNEK, 2003).....	22
Tab. 5: Obecné charakteristiky pro růst mikromycetů a produkci mykotoxinů v potravinách (OSTRÝ, 1998).....	24
Tab. 6: Dělení mykotoxinů podle jejich akutní toxicity pro běžná laboratorní zvířata, např. potkana (MALÍŘ a OSTRÝ, 2003) .....	25