

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra mikrobiologie, výživy a dietetiky**



**Mykotoxiny a jejich vliv na zdraví člověka**  
**Bakalářská práce**

**Autor práce: Kateřina Lachmanová**

**Obor studia: Kvalita produkce**

**Vedoucí práce: Ing. Eva Popelářová, Ph.D.**

© 2020 ČZU v Praze

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci „Mykotoxiny a jejich vliv na zdraví člověka“ jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucí bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 1.7.2020

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala paní Ing. Evě Popelářové, Ph.D. za čas, který mi věnovala, poskytnuté rady a vstřícnou pomoc při vedení bakalářské práce.

# Mykotoxiny a jejich vliv na lidské zdraví

## Souhrn

Hlavními produkty plísní jsou mykotoxiny, mezi něž patří zejména aflatoxiny, ochratoxin A, patulin, fumonisiny, deoxynivalenol a kyselina cyklopiazonová, které jsou nejčastěji tvořeny plísněmi – rod *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* a *Alternaria*.

Tato práce se zabývala základní charakteristikou plísní, jejich výskytu v potravinách a hlavně jimi produkovánými mykotoxiny. Dále jsem se zaměřila na faktory ovlivňující jejich produkci a také na zdravotně nebezpečné mykotoxikózy.

Náš organismus je po celý den vystavován možným vlivům toxických produktů plísní, tedy mykotoxinů, které se nejčastěji vyskytují ve špatně uskladněných potravinách, jež jsou následně námi zkonsumovány. Lidský organismus na to může reagovat různě, závisí na konkrétním zdravotním stavu každého jedince, zejména pak ale také na množství a četnosti požívání stravy kontaminované konkrétními mykotoxiny. Citlivější jedinci, či lidé, konzumující takto napadené potraviny častěji, mohou mít závažné zdravotní problémy končící dokonce i smrtí.

Jedněmi z chorob způsobených mykotoxiny, které patří mezi ty nejzávažnější, jsou mykotoxikózy, mohou být akutní nebo chronické. Akutní toxicita má obecně rychlý začátek a jasnou odezvu, zatímco chronická toxicita je charakterizována slabými, ale dlouhodobějšími projevy, jejichž výsledkem bývá velmi často rakovina, či jiné nemoci často s fatálními a nevratnými dopady. Další může být alergická bronchopulmonální aspergilóza. Ta napadá hlavně dýchací systém, kdy onemocnění se velmi podobá zápalu plic, což značně ztěžuje určení onemocnění. Dalším rizikovým onemocněním je primární karcinom jater, což způsobuje převážně druh *Aspergillus flavus*, který se vyskytuje na špatně uskladněných potravinách. Po častém požívání potravin, jež jsou touto plísní napadeny, vzniká zvýšené riziko onemocnění primárním karcinomem jater.

Dále se práce zabývala potravinami, které jsou z hlediska výskytu mykotoxinů rizikové, tedy zejména pečivem, obilninami, rýží, ovocem a zeleninou.

Součástí práce byl dotazník, který pojednával o povědomí lidí o mykotoxinech. Většina respondentů věděla, co jsou mykotoxiny, ale nevěděli, co přesně způsobují. Z dotazníku vyplynulo, že mnoho dotazovaných preferuje nákup oříšků z Evropské unie.

**Klíčová slova:** Plísně; toxické účinky; bezpečnost potravin; aflatoxiny; aspergilóza.

# Mycotoxins and their effects on human health

## Summary

The main products of fungi are mycotoxins, which include in particular aflatoxins, ochratoxin A, patulin, fumonisins, deoxynivalenol, and cyclopiazonic acid, which are most commonly formed by fungi - the genus *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* and *Alternaria*.

This work dealt with the basic characteristics of fungi, their occurrence in food, and especially their mycotoxins. I also focused on the factors influencing their production and on health-threatening mycotoxicosis.

Our body is exposed throughout the day to the possible effects of toxic fungal products, thus mycotoxins, which are most often found in poorly stored foods, which are then consumed by us. The human body can react differently to this, depending on the specific health status of each individual, but especially on the amount and frequency of eating a diet contaminated with specific mycotoxins. More sensitive individuals, or people who consume such infected foods more often, can have serious health problems ending in death.

One of the diseases caused by mycotoxins, which are among the most serious, are mycotoxicosis, they can be acute or chronic. Acute toxicity is generally rapid onset and clear in response, while chronic toxicity is characterized by mild but longer-lasting manifestations, often resulting in cancer or other diseases, often with fatal and irreversible effects. Another may be allergic bronchopulmonary aspergillosis. It mainly affects the respiratory system, where the disease is very similar to pneumonia, which makes it very difficult to determine the disease. Another high-risk disease is primary liver cancer, which is mainly caused by the species *Aspergillus flavus*, which occurs on poorly stored food. Frequent consumption of foods infested with this fungus increases the risk of primary liver cancer.

Furthermore, the work dealt with foods that are risky in terms of mycotoxins, especially bread, cereals, rice, fruits, and vegetables.

Part of the work was a questionnaire that dealt with people's awareness of mycotoxins. Most respondents knew what mycotoxins were, but did not know exactly what they were causing. The questionnaire showed that many respondents prefer to buy nuts from the European Union.

**Keywords:** Moulds; toxic effects; food safety; aflatoxins; aspergillosis.

# Obsah

<b>1 Úvod</b> .....	<b>8</b>
<b>2 Cíl práce</b> .....	<b>9</b>
<b>3 Literární rešerše</b> .....	<b>10</b>
<b>3.1 Vláknité mikromycety</b> .....	<b>10</b>
3.1.1 Rod <i>Aspergillus</i> .....	11
3.1.2 Rod <i>Penicillium</i> .....	12
3.1.3 Rod <i>Fusarium</i> .....	13
3.1.4 Rod <i>Alternaria</i> .....	15
3.1.5 Rod <i>Rhizopus</i> .....	16
3.1.6 Rod <i>Mucor</i> .....	16
<b>3.2 Charakteristika mykotoxinů</b> .....	<b>17</b>
3.2.1 Aflatoxiny.....	18
3.2.1.1 Aflatoxin B <sub>1</sub> .....	19
3.2.2 Ochratoxin A.....	21
3.2.2.1 Ochratoxin A v potravinách.....	22
3.2.3 Patulin.....	23
3.2.3.1 Patulin v potravinách.....	24
3.2.4 Fumonisin.....	25
3.2.4.1 Fumonisin v potravinách.....	26
3.2.5 Deoxynivalenol.....	26
3.2.5.1 Deoxynivalenol v potravinách.....	27
3.2.6 Kyselina cyklopiazonová.....	28
3.2.6.1 Kyselina cyklopiazonová v potravinách.....	29
<b>3.3 Onemocnění vyvolávaná mykotoxiny</b> .....	<b>29</b>
3.3.1 Aspergilóza.....	29
3.3.2 Alergická bronchopulmonální aspergilóza.....	30
3.3.3 Primární karcinom jater.....	30
3.3.4 Aflatoxikóza.....	32
3.3.5 Reyův syndrom.....	32
3.3.6 Balkánská endemická nefropatie.....	32
<b>3.4 Prevence výskytu plísní a vzniku mykotoxinů</b> .....	<b>33</b>
<b>3.5 Legislativní limity mykotoxinů</b> .....	<b>36</b>
3.5.1 Aflatoxin B <sub>1</sub> .....	36
3.5.2 Ochratoxin A.....	36
3.5.3 Patulin.....	37

3.5.4	Fumonisin.....	37
3.5.5	Deoxynivalenol .....	37
<b>4</b>	<b>Dotazník.....</b>	<b>38</b>
<b>5</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>43</b>
<b>6</b>	<b>Souhrn literatury .....</b>	<b>44</b>
<b>6.1</b>	<b>Přehled literatury.....</b>	<b>44</b>
<b>6.2</b>	<b>Internetové zdroje.....</b>	<b>49</b>
<b>7</b>	<b>Seznam použitých zkratek a symbolů.....</b>	<b>50</b>

# 1 Úvod

Mykotoxiny jsou sekundární toxické metabolity vláknitých mikromycetů, jenž patří mezi důležité toxiny přírodního (naturálního) původu. Název mykotoxiny byl poprvé použit v roce 1955.

Jsou nebílkovinné povahy, toxické pro člověka a živé organismy. Mezi jeden z hlavních důvodů, proč plísně mykotoxiny produkují, je vysvětlován tím, že jsou zásadním prostředkem pro přežití vláknitých mikromycetů v boji o potravu.

Momentálně je známo více než 400 mykotoxinů a i nadále jsou objevovány a chemicky charakterizovány nové mykotoxiny (Malíř & Ostrý 2003).

Velmi často dochází k nechtěné kontaminaci potravin. Jelikož jsou to kontaminanty přírodního původu, je velice těžké zamezit jejich výskytu, i když jsou dodržována veškerá opatření. Pokud se již nějaká potravina, napadená plísní, dostane do oběhu, je zadržena a nahlášena do systému RASFF, což umožní dohledání vadné zásilky, stažení z trhu a její následného zničení.



## 2 Cíl práce

Mykotoxiny jsou látky produkovány některými plísněmi. Vzhledem k tomu, že mohou způsobovat závažná onemocnění, jsou ve stravě člověka nežádoucí. Jejich nebezpečí tkví v tom, že nejsou pouhým okem viditelné a kolikrát ani chuťově rozeznatelné. Každá plíseň potřebuje pro svůj růst různou teplotu a vlhkost, proto období sklizně, skladování a zpracování je jedním z nejdůležitějších na prevenci jejich vzniku. Proto byla věnována velká pozornost jejich možnému výskytu v potravinách, pochutinách, jednoduše a obecně řečeno ve všem, co člověk pozře.

Cílem bakalářské práce bylo shrnout základní informace o mykotoxinech a současně se zaměřit na jejich působení na lidské zdraví.

### 3 Literární rešerše

Mykotoxiny jsou produkty vláknitých mikromycetů, které se tvoří za vhodných podmínek okolního prostředí, jako jsou například optimální vlhkost a teplota. Jsou nebezpečné ze zdravotního hlediska pro člověka, i pro zvířata. Při nadměrném požívání potravin napadených mykotoxiny mohou lidem i zvířatům způsobit velmi vážná onemocnění, v některých případech i smrt.

Zkoumání mykotoxinů v laboratorních podmínkách u nás započalo koncem 60. let na lékařské fakultě Univerzity Jana Evangelisty Purkyně v Brně (Malíř & Ostrý 2003). Mezi léty 1960 až 1975 byl hojně používán termín „zlatá horečka mykotoxinů“. Bylo to období, ve kterém se vědci různých oborů začali ve velké míře zajímat o tyto živé organismy. Do výzkumu se tehdy zapojilo mnoho vědců, jejichž primárním zájmem a cílem bylo bádání nad toxickými metabolity plísní. Podařilo se jim objevit okolo 400 sloučenin, které jsou nazývány mykotoxiny, z nichž skutečnou a závažnou hrozbou pro lidské a zvířecí zdraví jsou mykotoxiny (Bennett & Klich 2003).

#### 3.1 Vlákňité mikromycety

Mikromycety jsou vícebuněčné eukaryotní organismy s heterotrofní výživou. Vyskytují se všude, kde se nachází organická hmota, na které mohou růst a rozmnožovat se. Rozmnožují se pomocí spór (Malíř & Ostrý 2003).

Tyto mikroskopické houby jsou odolné vůči vnějším podmínkám, kdy za přítomnosti kyslíku, vhodné teploty a na ní závisující vlhkosti dochází k jejich rychlému množení a následné produkci mykotoxinů. Optimální teploty růstu a produkce se liší pro jednotlivé druhy mikromycet (Ruprich 1997).

Mykotoxiny jsou nebezpečné kontaminanty potravin se vyskytují v potravinách rostlinného a živočišného původu. Hlavním zdrojem kontaminace výrobků živočišného původu je již napadené krmivo, které bylo přijato hospodářským zvířetem. V tropických oblastech je vyšší riziko napadení potravin plísněmi, než v oblasti mírného pásma (Malíř & Ostrý 2003).

Mikroskopické houby, mohou mít jak negativní, tak i pozitivní vlastnosti. Mezi prospěšné patří využití v mnoha různých odvětvích, jedny z nejdůležitějších jsou zdravotnictví a farmakologie. Nejčastěji se mikromycety využívají při zhotovení antibiotik, zejména pak na výrobu léku penicilinu, jenž obsahuje plíseň *Penicillium chrysogenum*.

Z plísní rodu *Aspergillus* a *Penicillium* dokážeme uměle získat i mnoho (pro lidské tělo a jeho fungování důležitých) enzymů – amylázy, celulózy, lipázy a proteázy, jenž pak lze používat jak pro léčbu některých onemocnění, či jako doplněk stravy.

Citronovou kyselinu, která patří mezi organické a která se používá také jako doplněk stravy, či pro různé laboratorní a konzervační účely, lze poměrně jednoduše získávat za přispění *Aspergillus niger*, který je jednou ze součástí umělého výrobního procesu této kyseliny. Mezi obory, jež hojně využívají pozitivní účinky plísní, patří bezesporu potravinářství. Většinou se setkáváme s využitím plísní při výrobě mléčných výrobků, konkrétně sýrů. Sýry s plísní na

povrchu jako jsou Hermelín, Brie či Camembert využívají pro docílení své typické vůně a chuti *Penicillium camemberti*. Česká Niva, italská Gorgonzola či francouzský Roquefort patří mezi sýry s plísní v těstě a k tomu, aby byly takovými, jaké je známe a jaké je chceme mít, významně přispívá *Penicillium roqueforti*. Plísně lze využívat ale třeba i pro výrobu tepelně neopracovaných fermentovaných masných výrobků, kam patří hlavně Uherský salám či Křemešník, kdy na jejich povrchu vzniká plísňový povlak tvořen hlavně *Penicillium chrysogenum* či *Penicillium nalgiovense*, jenž těmto uzeninám přidává na jedinečnosti. V Asii je nejčastěji využívána plíseň *Aspergillus oryzae*, jenž společně s kvasinkami hraje důležitou roli při výrobě tradičního pokrmu miso (fermentovaná pasta z rýže či sóji) nebo velmi dobře známého japonského rýžového vína saké, které je vyráběno ještě s pomocí *Saccharomyces cerevisiae* a *Lactobacillus sake*.

Působení plísní se neomezuje jen na odvětví, která fungují v uzavřených prostorách laboratoří a produkce potravin, ale poměrně zásadně ovlivňují také to, jak vypadá prostředí, ve kterém žijeme. Biokoroze, neboli změna vlastností látek způsobená živými organismy, pomáhá rozkládat například dřevo. Na tomto rozkladném procesu celuláz se nejčastěji podílí rody *Aspergillus*, *Fusarium* a *Penicillium* (Kalhotka 2014).

Vláknité houby se vyskytují v různém prostředí, půdě, vzduchu, potravinách a v dalších substrátech. I když se mohou využívat jako zdroje antibiotik, vitamínů a surovin pro různé průmyslově důležité chemikálie (a pro náš život jsou ze své podstaty nepostradatelné), většina hub a vláknitých hub bohužel produkuje nebezpečné metabolity vyvolávajících řadu zdravotních rizik, jak u lidí, tak u zvířat. Spojení vláknitých hub a jejich metabolitů s různými negativními zdravotními dopady na lidi a zvířata přispělo k důvodům a důležitosti zkoumání různých zdravotních rizik vyvolaných těmito mikromycety. Mezi nejběžněji se vyskytující vláknité houby tvořící mykotoxiny patří rody *Aspergillus*, *Penicillium* a *Fusarium* (Egbuta et al. 2017).

### 3.1.1 Rod *Aspergillus*

Český název této mikroskopické houby „kropidlák“ vznikl z latinského aspergo, jenž znamená kropit/kapka, zřejmě také ale i podle průřezu rozmnožovacím orgánem této plísně, který připomíná kropítko (Malíř & Ostrý 2003).

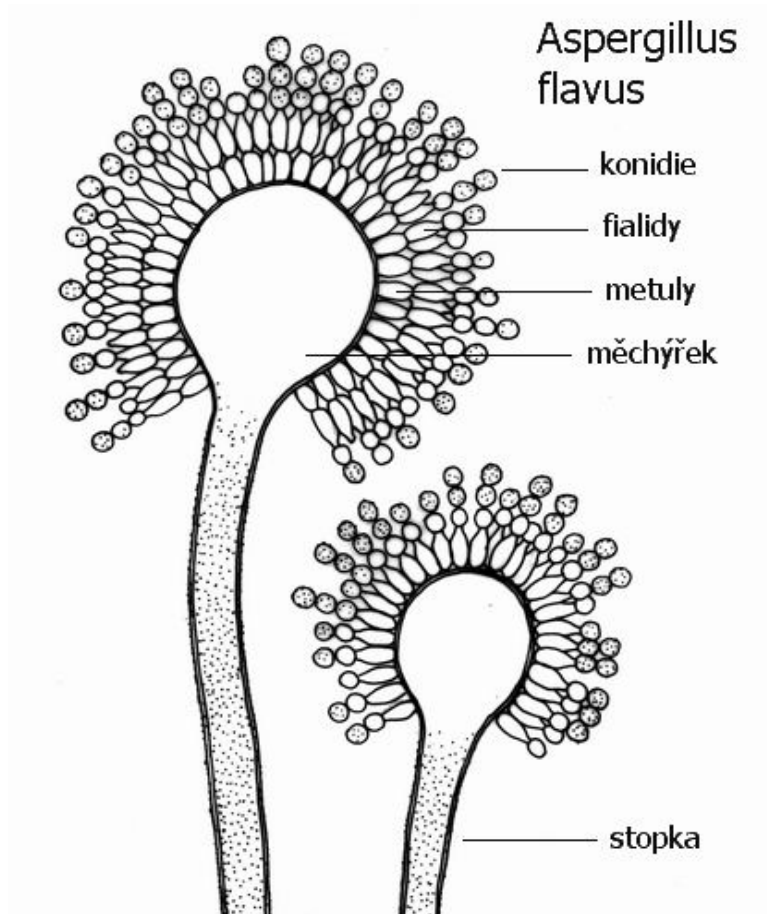
Patří mezi jedny z nejvíce rozšířených hub ve světě. Dokáží růst na jakémkoliv živném podkladu při velmi širokém rozmezí teplot (6 °C – 55 °C) a relativně nízké vlhkosti od 7 % (Krijgsheld et al. 2013).

Jedním z nejznámějších zástupců tohoto rodu je *Aspergillus flavus*, který se rozmnožuje nepohlavně pomocí konidií. Jen ale přibližně jedna polovina tohoto druhu uvolňuje aflatoxiny, které mohou maximálně produkovat až 10<sup>6</sup> µg/kg (Bennett & Klich 2003). Nejčastěji se vyskytuje na špatně uskladněných potravinách, například na kukuřici, chlebu, rýži, ovsu, pšenici, sóje, ořechách (arašídech, vlašských, pistáciích) a čiroku (Malíř & Ostrý 2003).

Jelikož napadají značné množství potravin, které jsou konzumovány lidmi, vznikají další nové výzkumy pro včasné zachycení a podrobnější popis této plísně, aby byla zajištěna bezpečnost a zdraví spotřebitelů (Kumar et al. 2017).

Na obr. č. 1 je vyobrazena nepohlavní rozmnožovací struktura rodu *Aspergillus*. Je tvořena konidioforem (stopkou), vezikulou (měchýřkem), fialidy a metuly, které rostou v jedné nebo více řadách nad sebou a vlastními konidii, kterými se tato plíseň rozmnožuje (Malíř & Ostrý 2003).

Obr. č. 1: Rod *Aspergillus*



<http://old.vscht.cz/obsah/fakulty/fpbt/ostatni/miniatlas/asp-fl.htm>

### 3.1.2 Rod *Penicillium*

Název „štětičkovec“ získal od latinského překladu slova štětec = *penicillus*, kdy tato plíseň vzhled štětce opravdu připomíná (Malíř & Ostrý 2003).

Běžně se vyskytuje ve vnitřním prostředí, v prostorách, kde běžně žijeme, jako je například prach, vzduch a vlhkost (Houbraken et al. 2011).

Rod *Penicillium* je jedním z hlavních producentů ochratoxinu A, který upřednostňuje růst spíše v kyslejších prostředí, kdy optimální pH pro rozvoj tohoto mykotoxinu je v rozmezí od 6,0 do 7,0. Dokáže ale růst i při pH 2,1 – 10. Ideální teplota je okolo 20 °C. Dále vytváří mykotoxin patulin, který se nejčastěji nachází u ovoce, kdy ideální pH pro jeho růst je mezi 3,0 – 4,0 (Sweeney & Dobson 1998).

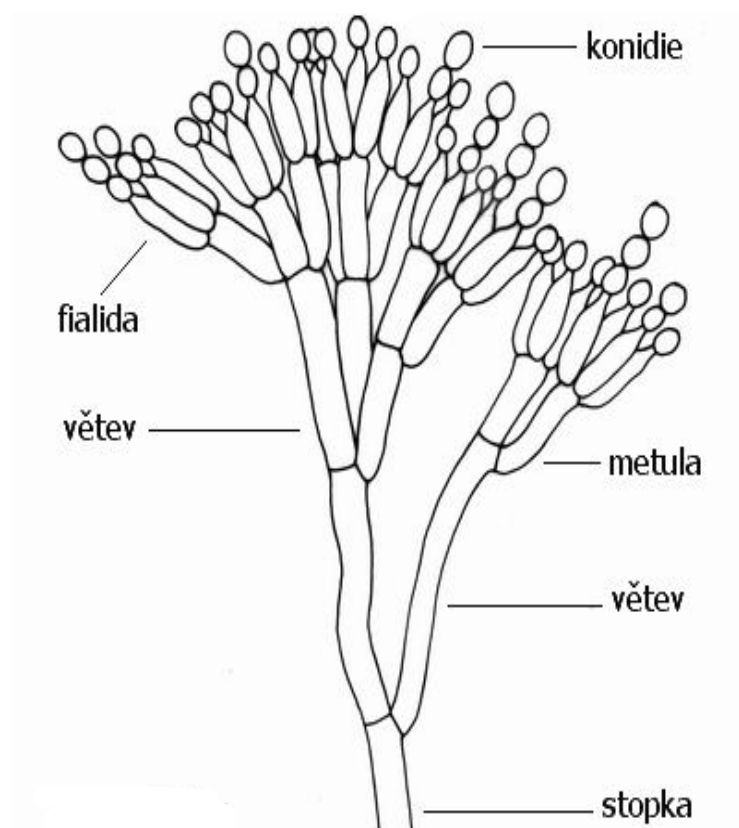
Patrně nejznámějším a pravděpodobně i nejužitečnějším zástupcem rodu *Penicillium* je druh *Penicillium notatum*, jehož využití jako antibiotika objevil skotský lékař a nositel Nobelovy ceny Alexander Fleming. Ten v roce 1928 zjistil, že bakterie, které se nacházejí v okolí této plísně, hynou. Tímto zcela náhodným objevem zachránil miliony životů na celém světě (Fleming 1944).

Dalším známým a životu prospěšným zástupcem tohoto rodu je druh *Penicillium camemberti*, který je žádoucí plísní při zrání sýrů typu Brie a Camembert (Fabian et al. 2018).

Rod *Penicillium* se nejčastěji vyskytuje v obilovinách a v potravinách z nich vyrobených, kukuřici, ořechách a luštěninách (Malír & Ostrý 2003).

Na obr. č. 2 je znázorněna nepohlavní rozmnožovací struktura rodu *Penicillium*, která je tvořena stopkou, následně jednotlivými větvemi, které se dále člení a rozvětvují a na jejichž konci se nachází konidie, pomocí kterých se rozmnožují.

Obr. č. 2: Rod *Penicillium*



<http://old.vscht.cz/obsah/fakulty/fpbt/ostatni/miniatlas/pen-chr.htm>

### 3.1.3 Rod *Fusarium*

*Fusarium* je rod známý jako celosvětový rostlinný patogen, který v mírných a subtropických oblastech včetně Číny, Severní Ameriky a Jižní Afriky infikuje a napadá různé obiloviny, jako je kukuřice, rýže, pšenice a oves. Bylo zjištěno, že způsobuje výrazné snížení

kvality a výnosu u mnoha plodin pěstovaných na krmivo a k lidské spotřebě. Odhaduje se, že se objevuje zejména při špatném uskladnění uvedených plodin, jejichž celkový výnos následně snižuje o 10 až 30 % (Shi et al. 2017).

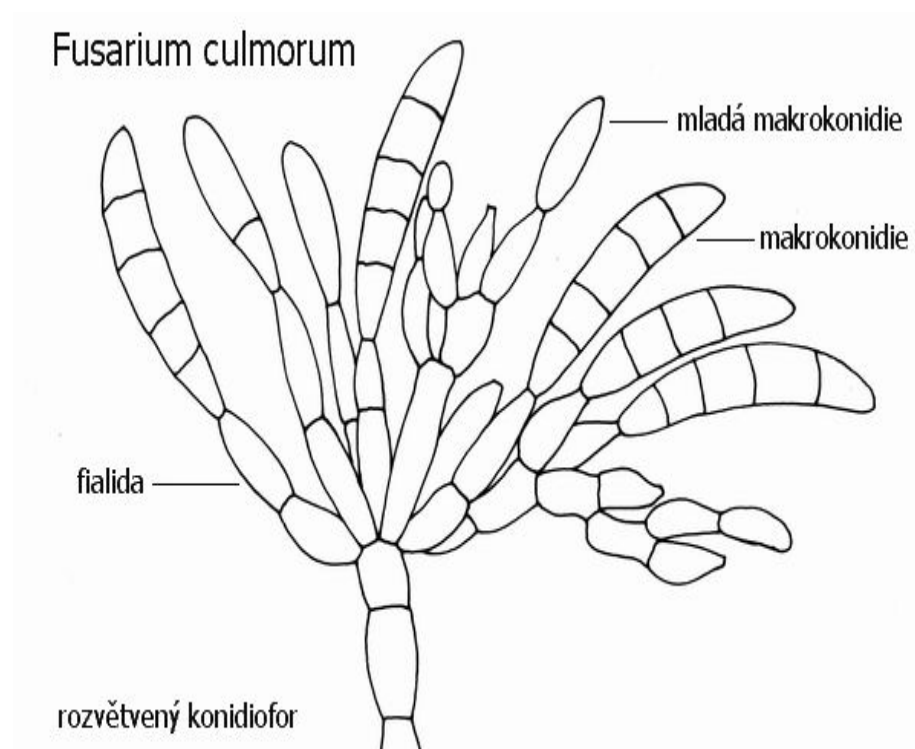
Zástupci tohoto rodu se převážně vyskytují v půdě, v níž jsou důležitou součástí jejího profilu a kde pomáhají s rozkladnými procesy organické hmoty. Většina druhů parazituje pouze na rostlinách, ale část zástupců tohoto rodu může být cizopasníkem zvířat, ale i člověka, jimž může způsobovat mykózy, které mohou v krajních případech vyústit v cysty či abscesy (Malíř & Ostrý 2003).

Rod *Fusarium* má optimální teplotu pro růst v rozmezí 15 – 25 °C při relativní vlhkosti vzduchu okolo 20 – 25 % se slabě kyselým pH prostředím (Harčárová et al. 2018).

Tento rod ale umí být člověku také prospěšný, některé z jeho druhů (hlavně *Fusarium venenatum*) se používají v různých biotechnologiích sloužících k umělé výrobě stravy a jejích doplňků, zejména tehdy, kdy je člověk odkázán z důvodů různých potravinových či jiných příjmových alergií na náhražky, například na náhražky masa (nazývající se mykoprotein Quorn).

Na obr. č. 3 je popsáno konidiální stádium, které je tvořeno konidioforem (stopkou), fialidou (produkuje konidie) a konidii různého stáří vývoje.

Obr. č. 3: Rod *Fusarium*



<http://old.vscht.cz/obsah/fakulty/fpbt/ostatni/miniatlas/fus.htm>

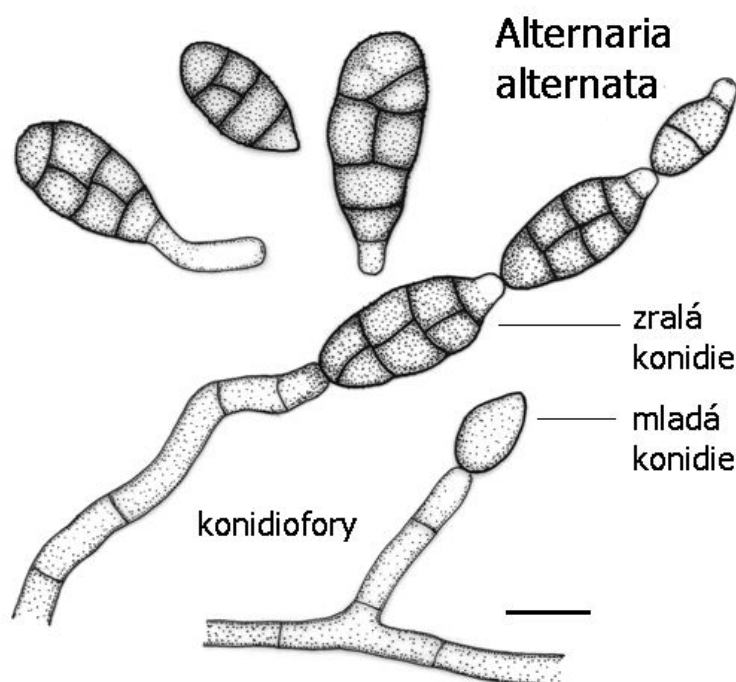
### 3.1.4 Rod *Alternaria*

Kolonie těchto plísní jsou ze začátku bezbarvé, následně šedé s vývojem až do zeleno-černého zbarvení. Konidiofory jsou tmavé, hruškovité, většinou tvořící krátké řetízky. Optimální teplota pro růst se pohybuje v teplotním rozmezí 25 – 30 °C s relativní vlhkostí okolo 85 – 100 %. Rozmnožovací struktura tohoto rodu je vyobrazena na obrázku č. 4. Dosud bylo popsáno přibližně 449 druhů, z nichž některé mohou být patogenní pro člověka či produkovat mykotoxiny, jako například *Alternaria alternata* (Kalhotka 2014).

Rod *Alternaria* se nejčastěji vyskytuje jako vzdušná kontaminace v mlékárnách, pivovarech, či ve skladech ovoce a zeleniny, kde způsobuje skvrnitost košťálovin nebo černou hnilobu mrkve (Šilhánková 1995).

Rod *Alternaria* je běžně spojován s chorobami rostlin způsobujícími kažení zemědělských komodit s následnými ekonomickými ztrátami. V potravinách byly detekovány mykotoxiny tvořené tímto rodem, hlavně tenuazonová kyselina (TA). K tvorbě mykotoxinů v ovoci a zelenině může dojít jak na poli, tak i během skladování. Rostlinná jídla infikovaná rodem *Alternaria* nejsou vhodná k lidské spotřebě a po konzumaci takto zasažených potravin hrozí i riziko vzniku reakce na požití mykotoxinu (Patriarca & Fernández Pinto 2018).

Obr. č. 4: Rod *Alternaria*



<http://old.vscht.cz/obsah/fakulty/fpbt/ostatni/miniatlas/alt.htm>

### 3.1.5 Rod *Rhizopus*

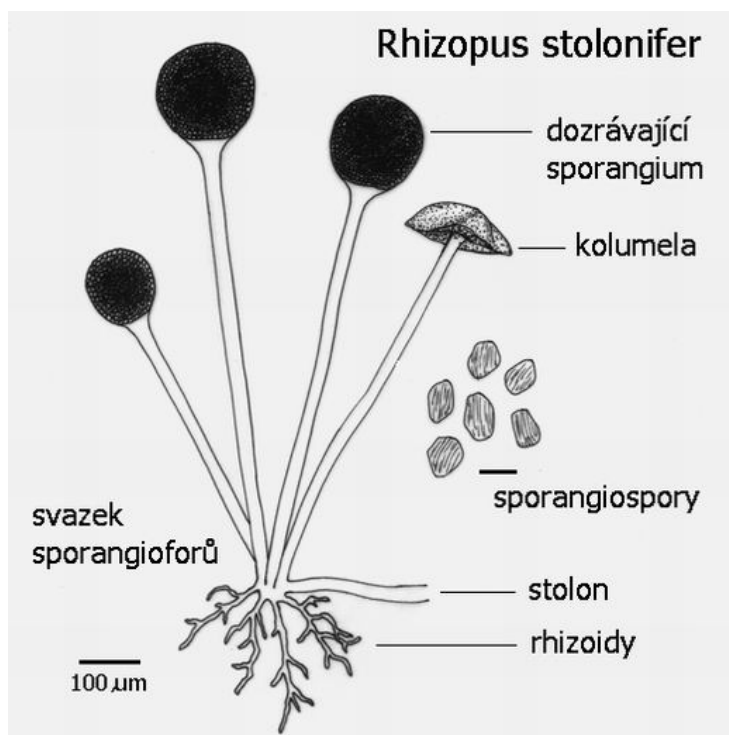
Nejčastěji se projevuje šedavou barvou s vatovitou texturou. Je známo přibližně 10 druhů, kdy ze 2 – 3 stolonů vyrůstají nevětvené sporangiofory ve tvaru kulovitého či čočkovitého kolumelu (viz obr. č. 5) Optimální teplota pro růst rodu *Rhizopus* se pohybuje okolo 25 °C s vysokou vlhkostí 95 – 97 % (Han et al. 2003).

Jedná se o saprofytickou houbu, nejčastěji napadá potraviny a krmiva, kdy způsobuje i hnilobu ovoce. U většiny těchto druhů zatím nebyla doložena produkce mykotoxinů (Kalhotka 2014).

Druhy *Rhizopus japonicus*, v některých pramenech uváděn také jako *Rhizopus oryzae* a *Rhizopus delemar* se používají v Japonsku pro přípravu alkoholických nápojů a fermentaci luštěnin, zejména pak sójových bobů.

Některé druhy tohoto rodu se používají pro rosení lnu, protože dokáží rozložit pektiny, v důsledku čehož se uvolní celulosová vlákna a následně je lze lépe zpracovat a využít v textilním průmyslu (Šilhánková 1995).

Obr. č. 5: Rod *Rhizopus*



<http://old.vscht.cz/obsah/fakulty/fpbt/ostatni/miniatlas/rhi.htm>

### 3.1.6 Rod *Mucor*

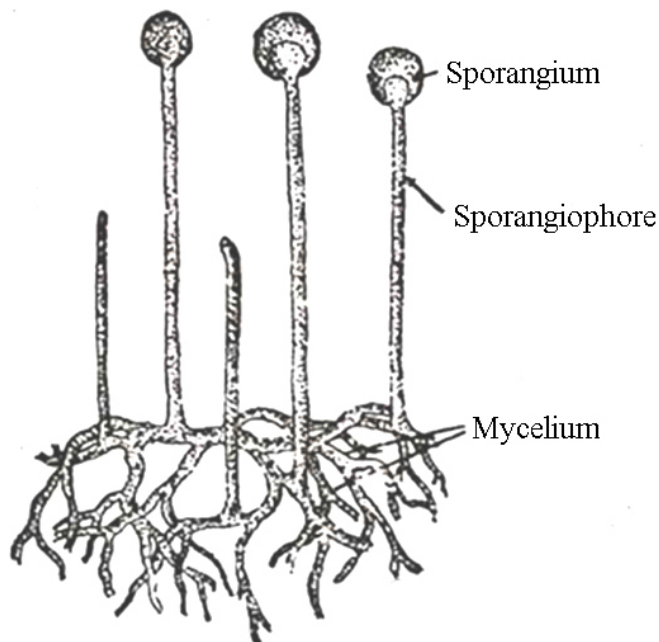
Nejčastěji jej můžeme nalézt na chlebu, másle, ovoci, zelenině či mase, kde utváří vzdušné vatovité mycelium bílé barvy, které následně tmavne. Velmi rychle, což znamená



v řádu několika málo hodin, se velmi agresivně rozrůstá. Jeho optimální teplota pro růst je mezi 20 – 25 °C s vlhkostí 90 – 95 % (Donnelly 2014). Mycelium, je minimálně větvené, větvené jsou hlavně sporangiofory, dlouhé tyčkovité útvary nesoucí kulovitá nahnědlá sporangia. Na obrázku č. 6 je zakreslena rozmnožovací struktura rodu *Mucor*. Ve světě je popsáno více jak 50 druhů. Patří mezi saprofytní houby vyžadující pro svou výživu organické cukry, proto se nejčastěji vyskytují na ovoci, rostlinách či potravinách. Většina druhů je patogenních (Šilhánková 1995; Kalhotka 2014).

Některé z druhů tohoto rodu patří pro člověka k velmi nebezpečným, extrémně vysokou úmrtnost pak způsobují u oslabených jedinců, typicky s problémy s imunitou, diabetem nebo popáleninami (Malíř & Ostrý 2003). Na druhou stranu u tohoto rodu zatím nebyla doložena produkce mykotoxinů.

Obr. č. 6: Rod *Mucor*



[http://premabotany.blogspot.com/2018/12/a\\_25.html](http://premabotany.blogspot.com/2018/12/a_25.html)

### 3.2 Charakteristika mykotoxinů

Zain (2011) uvádí, že mykotoxiny jsou sekundárními metabolity plísní, které narušují zdraví člověka, zvířat a úrody a současně mohou zapříčinit nemoci a finanční ztráty. Podle něj je i významným problémem celosvětová kontaminace jídel a potravin mykotoxiny. Některé plísňe jsou schopny produkovat i více druhů mykotoxinů a některé mykotoxiny mohou být tvořeny i více než jedním plísňovým kmenem.

Ke kontaminaci potravin mykotoxiny může dojít jak před výrobou, tak během skladování a zpracování, ale i při přepravě nebo uvádění potravin na trh. Vysoká teplota a vlhkost patří mezi predispoziční faktory, které napomáhají vzniku a rozvoji mykotoxinů v potravinách. Aflatoxiny, ochratoxiny, deoxynivalenol a fumonisiny jsou považovány za hlavní mykotoxiny

produkované v potravinách a krmivech. Například v Africe je kontaminace mykotoxiny považována za hlavní problém, který následně ovlivňuje zdraví lidí a zvířat. Onemocnění jater způsobená aflatoxiny jsou častá v mnoha afrických zemích. Toxicita ochratoxinu a fumonisinu u lidí a zvířat je v Africe také velmi rozšířená. Dostupné informace o tamním výskytu mykotoxinů, možných způsobů dekontaminace tohoto území a jejich vlivu na zdraví lidí a zvířat v Africe bohužel téměř úplně chybí (Darwish et al. 2014).

Darwish et al. (2014) a Kumar et al. (2017) se shodují v tom, že klíčovým bodem při výrobě většiny potravin je zajištění systému kritických bodů (HACCP), aby se zajistila zdravotní nezávadnost potravin.

Světovou zdravotnickou organizací (World Health Organization WHO) byly zařazeny některé skupiny mykotoxinů mezi lidské karcinogeny. Většina mykotoxinů je v současné době rozdělena na skupiny podle jejich toxicity na mykotoxiny způsobující vleklá a chronická onemocnění, mutageny, karcinogeny nebo teratogenní mykotoxiny. Například aflatoxin, který nejčastěji napadá játra, je zařazen mezi prokázané lidské karcinogeny, ochratoxiny a fumonisiny jsou řazeny mezi možné lidské karcinogeny, kdežto trichotheceny a zearalony nejsou zatím vůbec uznávány jako lidské karcinogeny (Omotayo et al. 2019).

### 3.2.1 Aflatoxiny

Aflatoxiny jsou nesaturované, polycyklické, vysoce substituované kumariny. Postupně byly identifikovány čtyři přirozeně se vyskytující typy aflatoxinů, a to AFB<sub>1</sub>, AFB<sub>2</sub>, AFG<sub>1</sub> a AFG<sub>2</sub>. Aflatoxiny skupiny B (AFB) vykazují při použití UV záření světlem modrou fluorescenci, aflatoxiny skupiny G (AFG) vyzařují zelenou fluorescenci (Malíř & Ostrý 2003).

Podle Carnaghan et al. (1963) jejich toxicita klesá v pořadí AFB<sub>1</sub> > AFG<sub>1</sub> > AFB<sub>2</sub> > AFG<sub>2</sub>.

Aflatoxiny jsou nejvíce studované ze skupiny mykotoxinů a jsou produkovány různými druhy rodu *Aspergillus*. Prvně byly izolovány a identifikovány v roce 1960 v případě „krutí X onemocnění“ (tj. odumření jater) (Hussein & Brasel 2001).

Jednotlivé druhy rodu *Aspergillus*, které produkují aflatoxiny, jsou uvedeny v tabulce č. 1.

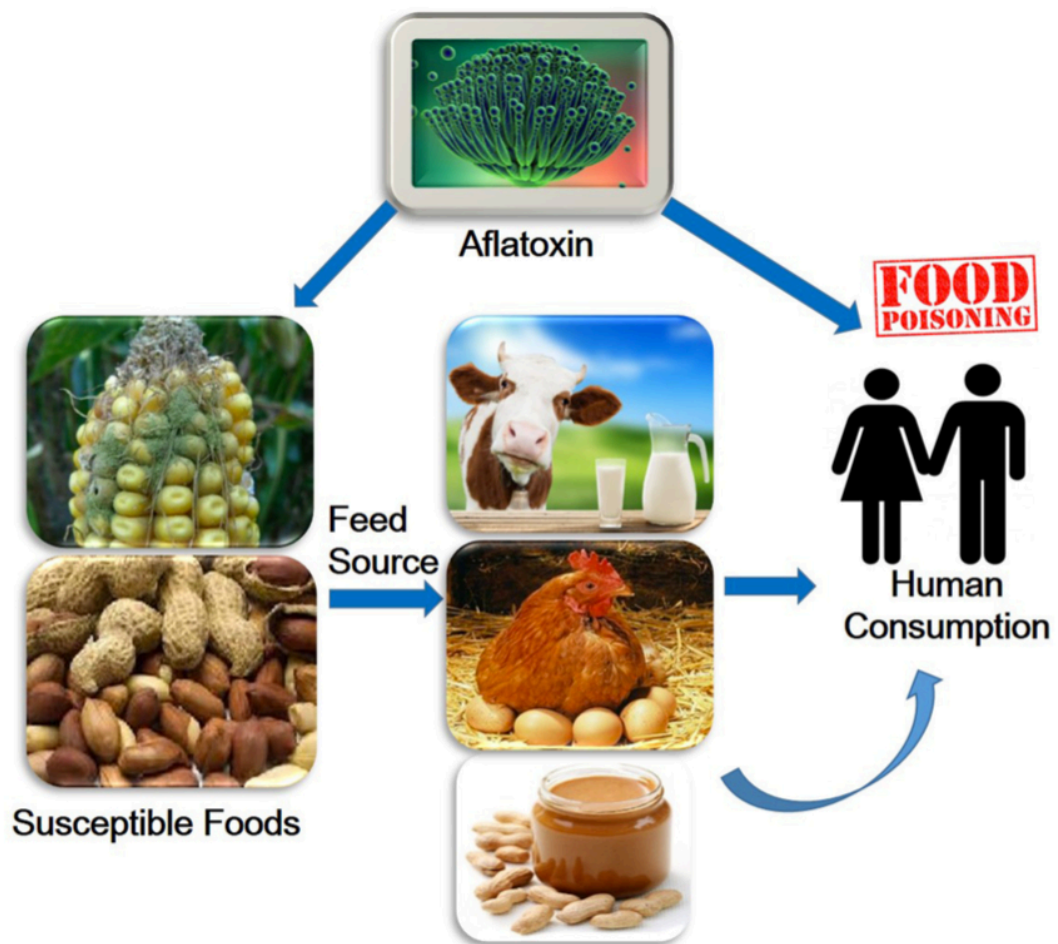
Tab. č. 1: Producenti aflatoxinů

Rod	Druh
<i>Aspergillus</i>	<i>Aspergillus argenticus</i> Vaamonde & Pitt <i>Aspergillus bombycis</i> Petersen, Ito, Horn, Goto <i>Aspergillus flavus</i> Link <i>Aspergillus nomius</i> Kurzman et al. <i>Aspergillus parasiticus</i> Speare <i>Aspergillus pseudotamarii</i> Ito, Petersen, Wicklow <i>Aspergillus tamarii</i> Kita <i>Aspergillus zhaoqingensis</i> Qi et Sun

(Malíř & Ostrý 2003)

Na schématu (obr. č. 7) je popsáno základní znázornění možností, jak se nakazit aflatoxiny. Nejčastěji se nakazíme buď na přímo, tedy že požijeme potravinu, která je napadena plísní rodu *Aspergillus*, nebo zkonsumujeme potravinu rostlinného či živočišného původu. Potraviny rostlinného původu nebyly řádně ošetřeny a skladovány, proto došlo k jejich zaplísnění. Pokud konzumujeme potraviny živočišného původu, možnost nákazy aflatoxinem byla způsobena zkrmováním plesnivého krmiva zvířatům.

Obr. č. 7: Schéma působení aflatoxinů na člověka



(Kumar et al. 2017)

### 3.2.1.1 Aflatoxin B<sub>1</sub>

Dle Bennett & Klich (2003) je aflatoxin B<sub>1</sub> (dále AFB<sub>1</sub>) nejsilnějším známým přírodním karcinogenem a obvykle je hlavním produkovaným aflatoxinem toxigenními kmeny. Onemocnění, které je většinou zapříčiněno požitím aflatoxinů, se nazývá aflatoxikóza.

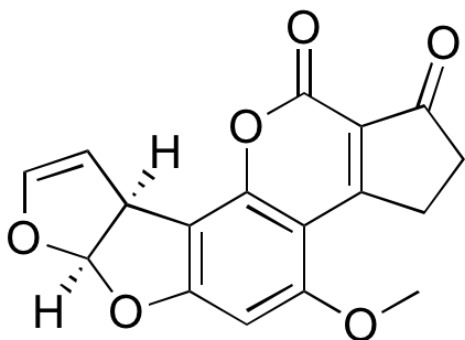
Přítomnost aflatoxinů v potravinách původně z rostlinné, následně, ale hlavně z živočišné potravy, kde se dostává do organismu zvířat ze špatně uskladněného krmiva a z rostlinné

produkce – ořechy, olejniny, obiloviny) nejčastěji způsobuje rakovinu jater u lidí převážně v afrických a asijských zemích (Betina 1990).

Primárně postiženým orgánem jsou játra (indukce jaterních lézí, jaterní karcinom, proliferace žlučových). Pomocí experimentů uskutečněných na primátech, kterým byly podávány vysoké dávky AFB<sub>1</sub> a byla u nich navozena akutní aflatoxikóza, byla vyhodnocena přibližná data pro člověka. Na základě těchto zjištění se předpokládá, že dávka AFB<sub>1</sub> v potravině kontaminované 1,7 mg/kg tělesné hmotnosti může způsobit závažné poškození jater. Dávka 75 mg/kg t. hm způsobí smrt jedince (Malíř & Ostrý 2003).

Na obr. č. 8 je vyobrazen strukturní vzorec aflatoxinu B<sub>1</sub>.

Obr. č. 8: Aflatoxin B<sub>1</sub>



<https://lktlabs.com/product/aflatoxin-b1/>

#### 3.2.1.1.1 Aflatoxin B<sub>1</sub> v potravinách

Toxické účinky AFB<sub>1</sub> u lidí byly popsány při intoxikaci obyvatel Indie po požití silně kontaminované rýže (koncentrace AFB<sub>1</sub> dosahovala až 15 mg/kg). Příznaky otravy se projevovaly horečkou, žloutenkou, otoky dolních končetin, ascitem a zvracením. Smrtelné případy se projevovaly po požití 2 – 6 mg denně po dobu 1 měsíce.

Tehdy zemřelo 106 lidí ze 397 intoxikovaných, kdy muži byli k intoxikaci více citlivější než ženy. Patologické nálezy byly velmi podobné jako u pokusně intoxikovaných opic s výskytem centrilobulární nekrózy v játrech (Patočka 2004).

Kontaminace potravin a krmiv aflatoxiny je celosvětový závažný problémem. Nejvíce zemí, které hlásily potraviny kontaminované aflatoxiny, byly především v tropických a subtropických oblastech, jako je Asie a Afrika.

Aflatoxiny se mohou rozvíjet jak v období před sklizní, tak po sklizni, ale nejvíce jsou spojovány s posklizňovým znehodnocením potravinářských komodit, jež jsou nevhodně skladovány při vysokém obsahu vlhkosti jak v ovzduší, tak v zrně, ale i při vysokých teplotách, které usnadňují růst plísní.

I když je na kontaminaci náchylná spousta potravin, nejčastěji se vyskytuje u arašídů, kukuřice, ořechů, fiků, rýže, obilovin a u výrobků zpracovaných z výše vyjmenovaných surovin. Na obrázku č. 9 je právě vyobrazena zaplísňená kukuřice. Strava je hlavním způsobem, kterým lidé i zvířata tyto mykotoxiny přijmou. Aflatoxin B<sub>1</sub> se transformuje na jaterní úrovni pomocí enzymů na aflatoxin M<sub>1</sub> a vylučuje se do mléka v mléčných žlázách lidí i zvířat poté,

co zvířata požíla krmiva kontaminovaná právě aflatoxinem B<sub>1</sub> (Malíř & Ostrý 2003; Bosco & Molle 2012).

Obr. č. 9: *Aspergillus flavus* a *Aspergillus parasiticus* na špatně uskladněné kukuřici.



<https://theconversation.com/what-must-be-done-to-get-toxin-out-of-kenyas-food-supply-127137>

### 3.2.2 Ochratoxin A

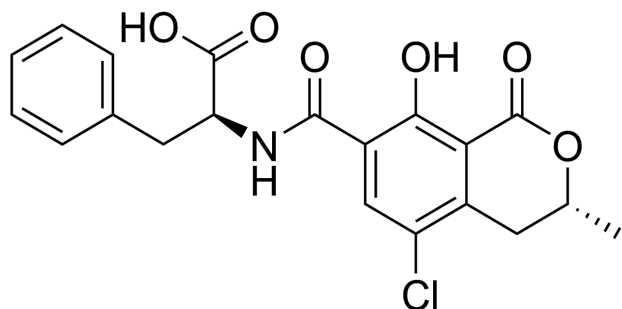
Ochratoxin objevil van der Merwe a kolektiv roku 1965 jako mykotoxin produkovaný *Aspergillus ochraceus* K. Wilh. Tento mykotoxin získali z kmene K – 804 izolovaný v Jižní Africe ze zrna čiroku (Hesseltine et al. 1972). Při produkci ochratoxinu A (OTA) se uplatňují především dva rody *Aspergillus* a *Penicillium* (Malíř & Ostrý 2003).

Ochratoxin se od většiny mykotoxinů liší tím, že obsahuje atom chloru – viz obr. č. 10 (Ciegler & Bennett 1980).

Z hlediska zdravotních onemocnění působí nefrotoxicky na prasata a obyvatele Dánska a Balkánu, kde toto onemocnění je nazýváno „Balkánská endemická nefropatie.“ Mezi nejčastěji napadávané orgány patří ledviny a játra, kdy OTA může působit i karcinogenně na tělní systém, kdy se nakažená potravina dostává do těla hlavně pomocí obilovin (Betina 1990; Ruprich 1997).

V tab. č. 2 jsou vypsané nejčastější druhy těchto plísni tvořící nebezpečné mykotoxiny, mezi něž patří rody *Aspergillus* a *Penicillium*.

Obr. č. 10: Ochratoxin A



<https://lktlabs.com/product/ochratoxin-a/>

Tab. č. 2: Producenti ochratoxinu A

Rod	Druh
<i>Aspergillus</i>	<i>Aspergillus alliaceus</i> Thom a Church <i>Aspergillus elegans</i> Gasperini <i>Aspergillus glaucus</i> Link <i>Aspergillus melleus</i> Yukawa <i>Aspergillus niger</i> Tiegh. nom. cons. <i>Aspergillus ochraceus</i> K. Wilh
	<i>Aspergillus ostianus</i> Wehmer <i>Aspergillus petrakii</i> Vörös <i>Aspergillus sclerotiorum</i> Huber <i>Aspergillus sulphureus</i> Wehmer
<i>Penicillium</i>	<i>Penicillium verrucosum</i> Dierckx <i>Penicillium commune</i> Thom <i>Penicillium aurantiogriseum</i> Dierckx <i>Penicillium variabile</i> Sopp <i>Penicillium verruculosum</i> Peyronel <i>Penicillium palitans</i> Westling <i>Penicillium expansum</i> Link <i>Penicillium chrysogenum</i> Thom

(Malíř & Ostrý 2003)

### 3.2.2.1 Ochratoxin A v potravinách

Ochratoxin může do lidského potravinového řetězce vstoupit pomocí již kontaminované potraviny nebo přes zvířecí trávicí trakt krmivem do svalové tkáně, kdy hospodářská zvířata jsou následně zkonzumována lidmi.

Hlavní kontaminace je způsobena konzumací obilovin a jejich produktů, které zahrnují potraviny a nápoje pro lidskou spotřebu, ale také vedlejšími produkty, které se obvykle používají jako krmivo pro zvířata. Ke kontaminaci ochratoxinem A většinou dochází v oblastech mírného až tropického pásma, v horkých nebo vlhkých klimatických podmínkách s vysokou, ale i nižší teplotou. Nejvíce se s ní setkáváme v těchto zemích: Severní Amerika,

severní a západní Evropa, africké země, jižní Asie a Jižní Amerika. Mělo by se zvážit, zda by se obiloviny mohly považovat za hlavní zdroj tohoto mykotoxinu, protože 50 % denního lidského příjmu ochratoxinu A je právě způsobeno konzumací různých produktů z obilovin.

Ochratoxin A se hlavně koncentruje v plášti osiva, který se následně používá jako krmivo pro zvířata. Skladování ječmene a pšenice s vysokým obsahem vlhkosti zvyšuje riziko růstu plísní a produkci toxinů. Některé druhy zpracování obilovin, jako sladování, kvašení sladu a výroba chleba, může významně přispět ke snížení koncentrace ochratoxinu A. Přítomnost ochratoxinu A můžeme prokázat hlavně v obilovinách a výrobcích z nich (pivo, chléb, placky), ve víně, vinném octu a luštěninách (Malíř & Ostrý 2003; Bosco & Molle 2012).

Ochratoxin se nejčastěji vyskytuje v potravinách vyrobených z obilovin, kdy obiloviny patří mezi jedny z nejdůležitějších zdrojů lidské výživy. Roční světová úroda obilovin se pohybuje okolo 2 000 milionů tun, což je asi 160 kg na obyvatele. Jak uvádí El Khoury, podle průzkumu, bylo zjištěno, že 25 – 40 % obilovin je napadeno mykotoxiny (El Khoury & Atoui 2010).

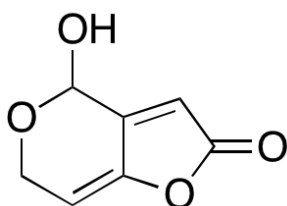
Zajímavostí je, že se velmi vysoké koncentrace OTA o hodnotách 100 – 500 µg/kg vyskytovaly v kakau v 34 % kontrolovaných vzorcích z celkového počtu 75 vzorků (Ruprich 1997). Jelikož je kakao jedním z nejméně důležitých ekonomických produktů v Ghaně a Kamerunu, je velmi důležité dbát na prevenci rozvoje plísní produkujících mykotoxiny. Nejrizikovějším procesem, který je vhodný pro růst plísní, je část fermentace, sušení a transport kakaových bobů. Při sušení se odebírá vlhkost semenům, ale zejména následně po jejich usušení při přepravě do konečných destinací je potřeba udržovat optimální teploty pro transport, kde se při zvýšené vlhkosti a špatném uskladnění zvyšuje riziko rozvoje plísní (Diaz 2005).

### 3.2.3 Patulin

Omotayo et al. (2019) uvádějí, že se patulin často nachází ve shnilých jablkách, jablečných produktech, ale i v jiných druzích ovoce a zeleniny v Jižní Africe.

Patulin byl dříve používán jako antibiotikum proti grampozitivním a gramnegativním bakteriím, ale poté byla objevena jeho toxicita, proto se přestal jako antibiotikum používat. Dle Abrunhosa et al. (2013) použití patulinu může způsobit akutní projevy, jako jsou záchvaty, třesení, střevní krvácení, otoky a zvracení. Mezi chronické symptomy patří neurotoxicita, imunotoxicita a rakovinotvorné vlivy. Na obr. č. 11 je vyobrazen patulin, což je z chemického hlediska nenasycený lakton. V tab. č. 3 jsou uvedeny jednotlivé druhy tvořící patulin (Malíř & Ostrý 2003).

Obr. č. 11: Patulin



<https://lktlabs.com/product/patulin/>

Tab. č. 3: Producenti patulinu

Rod	Druh
<i>Aspergillus</i>	<i>Aspergillus clavatus</i> Desm.
<i>Penicillium</i>	<i>Penicillium expansum</i> Thom <i>Penicillium griseofulvum</i> Dierckx
<i>Paecilomyces</i>	<i>Paecilomyces varioti</i> Bainier
<i>Byssochlamys</i>	<i>Byssochlamys nivea</i> Westling

(Malíř & Ostrý 2003)

### 3.2.3.1 Patulin v potravinách

Kmeny, které produkují patulin, byly izolovány z různých druhů ovoce a zeleniny. Patulin se převážně vyskytuje u jablek poškozených vnější plísní, ale někdy může růst plísní nastávat i u nepoškozeného ovoce. S jablky je proto třeba před zpracováním a během zpracování zacházet opatrně, aby nedošlo k jejich poškození. Je také velmi důležité snížit možnost kontaminace odstraněním plesnivých plodů, a hlavně věnovat zvýšenou opatrnost a pozornost čištění nádob, ve kterých se jablka dále zpracovávají (Bosco & Molle 2012).

Patulin se nejčastěji vyskytuje v jablkách a ve výrobcích z nich, banánech a hruškách (Malíř & Ostrý 2003). Na obrázku č. 12 je jablko napadené plísní *Penicillium expansum*, která je jedním z producentů tohoto mykotoxinu. Způsobuje jablku hnědnutí jak na povrchu, tak i uvnitř dužiny a následně je plíseň i dobře viditelná.

Obr. č. 12: Jablko napadené plísní *Penicillium expansum*



<https://www.semanticscholar.org/paper/Biosynthesis-and-Toxicological-Effects-of-Patulin-Puel-Galtier/2b507360338ab1b842c3d3e70c9c25453988f279>



### 3.2.4 Fumonisin

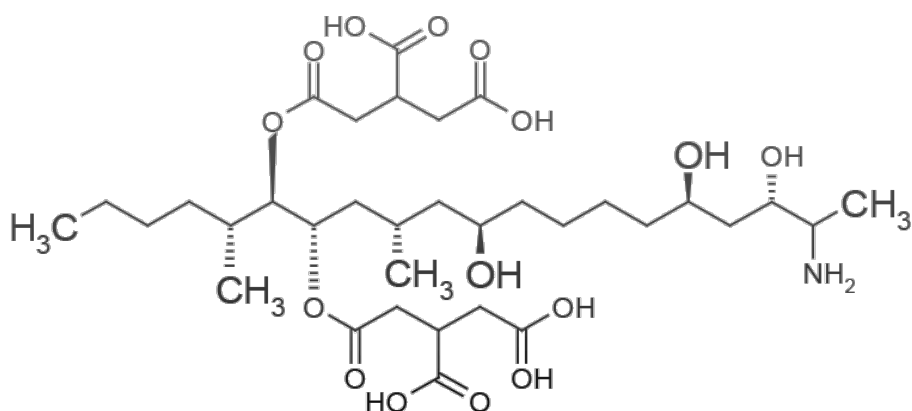
Byly poprvé izolovány v roce 1988 z *Fusarium moniliforme* ze zrna kukuřice (Bennett & Klich 2003).

Přítomnost fumonisinů byla objevena u kukuřičné mouky, sušených fíků a bylinných čajů (Bhat et al. 2010; Woloshuk & Shim 2013).

Na obr. č. 13 je strukturní vzorec fumonisinu B<sub>1</sub>, který je tvořen rodem *Fusarium* (tab. č. 4).

Fumonisin ve východní a jižní Africe vyskytují v 92,5 % všech analyzovaných vzorků kukuřice. V těchto zemích dosahuje denní příjem kukuřice více než 200 g/osobu/den, kde maximum je požíváno v Malawi (468,8 g), Zambii (418,6 g) a Zimbabwe (330,9 g). U populace v Zimbabwe byl na základě spotřeby kukuřice vypočten průměrný denní příjem fumonisinů ve výši 245 µg (Malíř & Ostrý 2003). Scientific Committee for Food of European Commission (SCF) stanovila v roce 2000 provizorní tolerovatelný denní přívod pro fumonisin B<sub>1</sub> 2 µg/kg t. hm. za den. Z uvedeného limitu vyplývá, že na člověka vážícího průměrně 80 kg připadá maximálně 160 µg fumonisinu B<sub>1</sub> za den. Hodnoty u populace v Zimbabwe jsou tak překročeny 1,4 krát.

Obr. č. 13: Fumonisin B<sub>1</sub>



<https://lktlabs.com/product/fumonisin-b1/>

Tab. č. 4: Producenti fumonisinu

Rod	Druh
<i>Fusarium</i>	<i>Fusarium moniliforme</i> J. Sheldon <i>Fusarium proliferatum</i> Nirenberg <i>Fusarium anthophilum</i> Wollenw. <i>Fusarium oxysporum</i> Schlecht. var. <i>Redolens</i> Gordon <i>Fusarium dlaminii</i> Marasas, P. E. Nelson & T. A. Tousson, Trimboli <i>Fusarium nygamai</i> Burgess a Trimboli <i>Fusarium napiforme</i> Marasas, P. E. Nelson & Rabie, Trimboli.

(Malíř & Ostrý 2003)

#### 3.2.4.1 Fumonisin v potravinách

Fumonisy jsou častým kontaminantem potravin a krmiv na bázi kukuřice v Africe, Číně, Indonésii, na Filipínách, v Jižní Americe a v Thajsku. Kromě kukuřice nebo potravin a krmiv z kukuřice vyrobených se fumonisin vyskytoval i v jiných produktech, jako jsou rýže a čirok, pšeničné nudle, kari a pivo (Malíř & Ostrý 2003; Bosco & Molle 2012). Na obrázku č. 14 je vyobrazena kukuřice napadená rodem *Fusarium*.

Podle výzkumu provedeném v roce 1994 Jackson et al. (1996) z vybraných kukuřičných výrobků bylo zjištěno, že nejvíce fumonisinů se nacházelo v rozemletých produktech. Mezi ně například patří kukuřičná moučka a kukuřičná krupice. Překvapivě velké množství bylo objeveno v konzervované kukuřici nebo v popcornu.

Obr. č. 14: Kukuřice napadena rodem *Fusarium*



<https://www2.biomin.net/fr/blog-posts/new-proposed-maximum-levels-of-fumonisin-in-maize-are-these-precautions-sufficient/>

#### 3.2.5 Deoxynivalenol

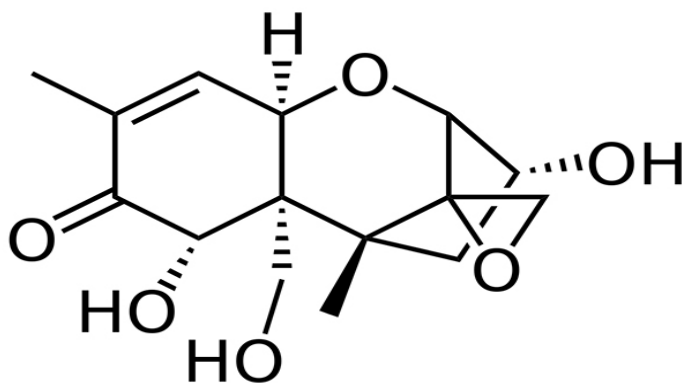
Deoxynivalenol (DON) byl poprvé objeven a charakterizován v roce 1973 Yoshizawou a Moorokem (1973) z ječmene, který byl infikován kmenem rodu *Fusarium* (Pestka & Smolinski 2005).

Původní název „vomitoxin“ (anglicky vomit – česky zvracet) vznikl ve Spojených státech amerických, kdy byla podávána prasatům kukuřice napadená mykotoxinem, jenž zapříčinila zvracení (Vesonder et al 1973). Nezávisle na něm, dokonce i ve stejný čas, na výzkumu pracoval Yoshizawa s Moorokem. A došli k podobnému závěru. U lidí se nejčastěji nákaza

projevuje nevolností, zvracením, silnou bolestí břicha, průjmem, bolestmi hlavy, závratěmi a horečkou. (Pestka & Smolinski 2005).

Strukturální vzorec deoxynivalenolu je vyobrazen na obr. č. 15 společně s jeho producenty v tab. č. 5.

Obr. č. 15: Deoxynivalenol



<https://lktlabs.com/product/deoxynivalenol/>

Tab. č. 5: Producenti deoxynivalenolu

Rod	Druh
<i>Fusarium</i>	<i>Fusarium culmorum</i> Sacc. <i>Fusarium graminearum</i> Schwabe <i>Fusarium poae</i> Wollenw. <i>Fusarium sporotrichoides</i> Scherb.

(Malíř & Ostrý 2003)

### 3.2.5.1 Deoxynivalenol v potravinách

Deoxynivalenol je nejčastěji detekován v zrnech jako je pšenice, ječmen, oves, žito a kukuřice a méně často v rýži, čiroku a triticales (Cinar & Onbaşı 2019). Deoxynivalenol byl zjištěn v následujících potravinách: obiloviny a výrobky z nich, dětská výživa z obilovin, ječmen, různé druhy kukuřice, pšenice a výrobky z ní, triticales, rýže, čirok, proso, žitná mouka a otruby, chléb, špagety, müsli, pivo, nudle, zázvor, koriandr, sójové boby, brambory, česnek (Malíř & Ostrý 2003).

Deoxynivalenol je považován za vysoce stabilní toxin a může přežít různé metody zpracování potravin, například mletí, práškovou strukturu. Bylo také zjištěno, že DON je přítomen v malém množství ve vejcích (Bhat et al. 2010).

### 3.2.6 Kyselina cyklopiazonová

Kyselina cyklopiazonová (CPK) se často přirozeně vyskytuje v rostlinných produktech jako je např. kukuřice, slunečnice, oříšky (hlavně arašídy), rajčatové pasty, ale i u mléčných výrobků, včetně sýrů a mléka (Hymery et al. 2014).

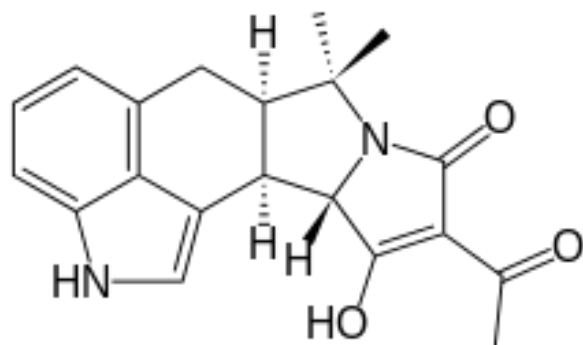
Poprvé byla izolována z kmene *Penicillium cyclopium* Westling, která byla charakterizována v souvislosti se zvyšující se přítomností onemocnění ovcí a kachňat, která požívala krmiva obsahující toxinogenní kmen *Penicillium* (Holzapfel 1968).

Le Bars (1979) popsal přítomnost u plísňových sýrů typu Camembert. Při konzumaci těchto sýrů se do těla dostává velmi nízké množství toxických látek (nižší než 4 µg).

Přestože se tato plíseň běžně a přirozeně vyskytuje u sýrů, které jsou pravidelně konzumovány, není pro tento mykotoxin stanoven v České republice hygienický limit, jelikož jeho koncentrace se pohybují v jednotkách až stovkách µg/kg (Malíř & Ostrý 2003).

Na obr. č. 16 je vyobrazen strukturní vzorec kyseliny cyklopiazonové a v tab. č. 6 její producenti – rody *Aspergillus* a *Penicillium*.

Obr. č. 16: kyselina cyklopiazonová



[https://en.wikipedia.org/wiki/Cyclopiazonic\\_acid](https://en.wikipedia.org/wiki/Cyclopiazonic_acid)

Tab. č. 6: Producenti kyseliny cyklopiazonové

Rod	Druh
<i>Aspergillus</i>	<i>Aspergillus argentinicus</i> Vaamonde & Pitt <i>Aspergillus flavus</i> Link <i>Aspergillus versicolor</i> Tirab. <i>Aspergillus oryzae</i> Cohn <i>Aspergillus pseudotamarii</i> Ito, Petersen, Wicklow <i>Aspergillus tamarii</i> Kita
<i>Penicillium</i>	<i>Penicillium camemberti</i> Thom <i>Penicillium commune</i> Thom <i>Penicillium griseofulvum</i> Dierckx

(Malíř & Ostrý 2003)

### 3.2.6.1 Kyselina cyklopiazonová v potravinách

Podle jednotlivých studií se přirozeně vyskytuje v arašidech, kukuřici a v sýrech. Zdravotní rizika spojená s kyselinou cyklopiazonovou jsou velmi minimální, ale ve vysokých koncentracích může být akutně toxická, hlavně pro zvířata. Tento toxin se obvykle vyskytuje u obilovin napadených právě tímto mykotoxinem (Bhat et al. 2010). Mezi potraviny, které dále obsahovaly mikromycety produkující tento mykotoxin, patřily masné výrobky (párky, šunky, salámy), těstoviny, ořišky a kukuřičné výrobky (Ostrý & Polster 1989).

## 3.3 Onemocnění vyvolávaná mykotoxiny

Mykotoxikózy jsou většinou u člověka způsobeny buď požitím mykotoxiny napadenými potravinami, nebo pobytem v prostředí, kde se plísně produkující mykotoxiny nacházejí. Lze rozeznat tři možné formy průběhu. Akutní primární a chronickou primární mykotoxikózu a sekundární onemocnění.

Akutní primární mykotoxikóza vzniká po zkonsumování velmi vysokých dávek mykotoxinů, kdy tento stav nemá dlouhého trvání a končí často smrtí jedince.

Chronická primární mykotoxikóza je důsledkem dlouholetého požívání nižších dávek mykotoxinů v potravinách. Tato onemocnění mají většinou delší trvání a způsobují například sníženou schopnost reprodukce.

Sekundární onemocnění jsou způsobena požíváním mykotoxinů po dlouhou dobu ve velmi nízkých dávkách. Způsobují vleklé zdravotní problémy a onemocnění ohrožující na životě. Mezi ně se řadí například alergická bronchopulmonální aspergilóza, primární karcinom jater nebo balkánská endemická nefropatie (Votava 2003).

### 3.3.1 Aspergilóza

Nejčastěji se člověk infikuje rodem *Aspergillus* vzduchem, jelikož má vzdušná mycelia, která uvolňují konidie. Ta mohou být následně vdechnuta do plic, kde se usadí a začnou klíčit a následně vyvolají infekci v plicích. Mezi jedny z hlavních patogenů pro člověka patří druhy *Aspergillus flavus* a *Aspergillus niger*. Roztroušená forma aspergilózy s nekrózou může postihnout centrální nervový systém, trávicí trakt, ledviny a hlavně játra. Tato forma onemocnění převážně postihuje osoby s nižší imunitou. U pacientů s akutní leukémií nebo léčící se s AIDS bylo pozorováno vyšší riziko vzniku invazivní aspergilózy.

Invazivní aspergilóza má právě jeden z nejzávažnějších průběhů aspergilóz. Nejprve začnou spóry v průduškách se hojně množit a následně započne prorůstání do okolních tkání s následnými krvácivými infarkty a rozpadem tkání (Dismukes et al. 2003; Zazula et al. 2005; Schindler 2014).

### 3.3.2 Alergická bronchopulmonální aspergilóza

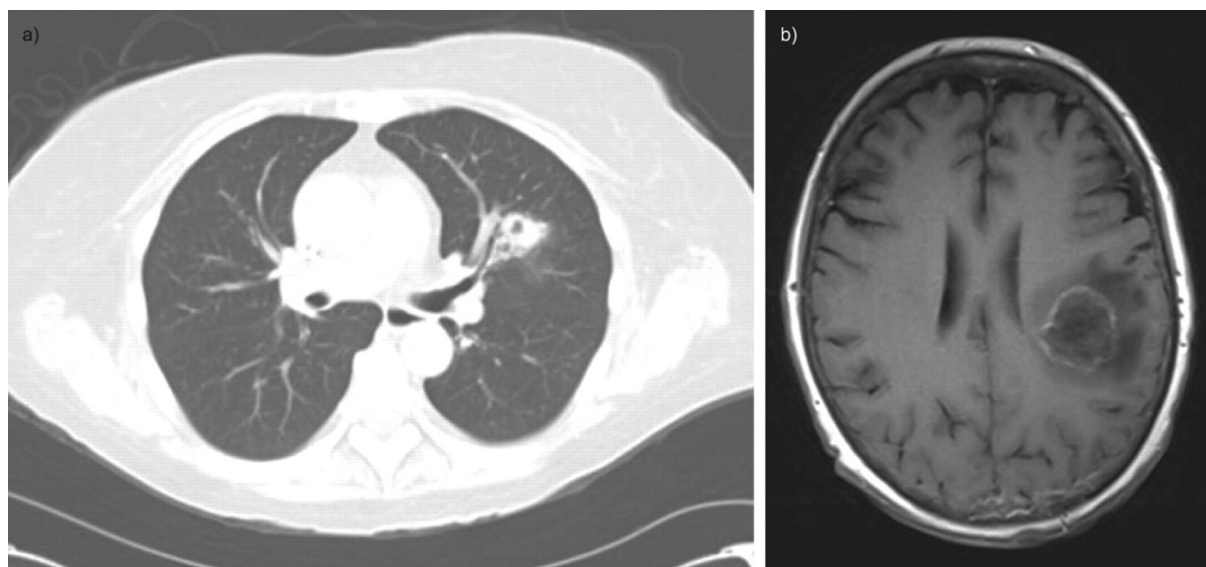
Onemocnění je podobné zápalu plic, které se projevuje silným astmatem, bolestí na hrudi a poklesem hmotnosti. Tato reakce organismu vzniká při alergii na aspergily (Horák 2011).

Člověk se nejčastěji nakazí inhalací infekčních spór, méně přes gastrointestinální trakt či kůži. Většinou jsou symptomy následující: antibiotika a léky nesnižující horečku, kašel, dušnost a produkce hlenu. Dále pacienti uváděli také bolest na hrudi, která vedla k cévním trombózám, což mohlo i způsobit plicní infarkt. Infekce může také způsobovat krvácení orgánů, včetně i velmi nebezpečného krvácení do mozku.

Diagnostika tohoto onemocnění je velmi složitá, provádí se za použití histopatologického vyšetření plicní tkáně získané torakoskopickou torakoskopií: šetrný, rychlý, miniinvazivní operační výkon, umožňující odebrání vzorku plice nebo otevřenou plicní biopsií. Rentgen hrudníku je v počátečních stádiích onemocnění bezvýznamný, protože výskyt časově porovnatelných změn je malý. Mnohem užitečnější je použití počítačové tomografie (CT) hrudníku, které zobrazí i sebemenší ložiska onemocnění (Kousha et al. 2011).

Na obr. č. 17 je RTG snímek plic a magnetická rezonance mozku.

Obr. č. 17: Aspergilóza na RTG snímku plic pacienta (vlevo), magnetická rezonance mozku pacienta (vpravo)



<https://err.ersjournals.com/content/20/121/156>

### 3.3.3 Primární karcinom jater

Nejčastěji se v populaci vyskytuje hepatocelulární karcinom (HCC), který je nejvíce rozšířen v Asii, Africe a u obyvatel asijsko – amerických a hispánsko – amerických. Celosvětově je pátým nejčastěji se vyskytujícím nádorem, v České republice patří spíše k vzácnějším onemocněním, kdy se objeví ročně okolo u 500 pacientů, kteří převážně již trpí

jaterní cirhózou. V Čínské lidové republice je roční úmrtnost na HCC okolo 350 000, což ji zařazuje na druhé místo mortalitních onemocnění.

Přes 40 let vědci usilovně zjišťují vzájemný vztah působení aflatoxinů na rakovinu jater (Wang & Tang 2008; Brůha et al. 2012).

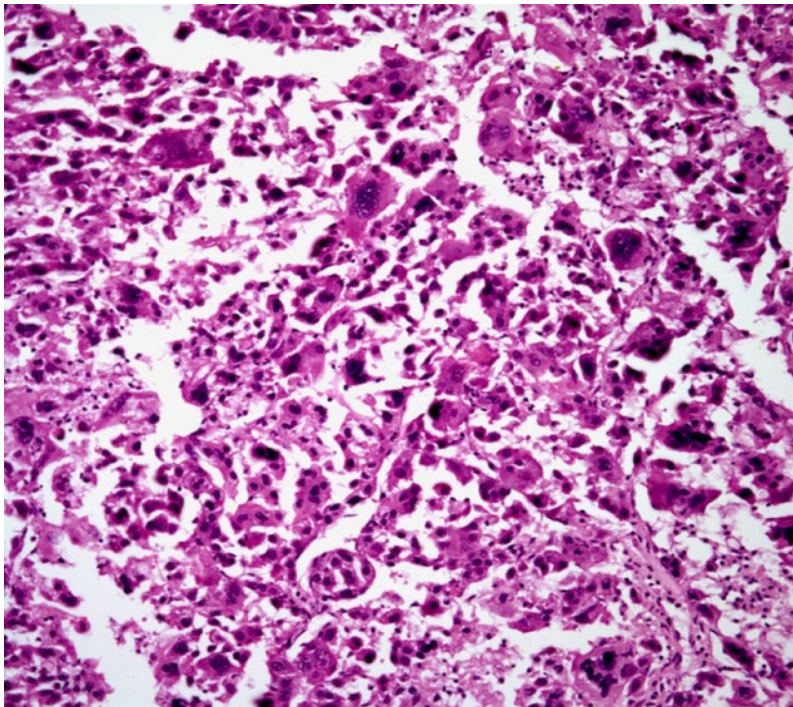
První výzkumy započaly roku 1971, kdy Mezinárodní agentura pro výzkum rakoviny sestavila skupinu vědců, která se zabývala otázkou vzájemných vztahů vzniku mykotoxinů (konkrétně aflatoxinů) a karcinomu jater. Studie probíhala ve Svazijsku, Ugandě, Thajsku, Keni, Mosambiku, Číně, v USA a dalších státech. Souhrnná studie zjistila, že obyvatelé Číny měli aflatoxinové metabolity v moči a tím pádem i zvýšené riziko vzniku HCC (International Agency for Research on Cancer 1993).

Dle výzkumu Palliyaguru & Wu (2013) nejvíce pomáhá zemím v Africe a Asii informovanost a dostupnost vakcinace proti hepatitidě typu B.

Nejčastěji se lidé nakazí ze špatně uskladněných potravin – kukuřice, arašidy, čirok a kopra (sušené a rozemleté jádro ořechu), kde následně začne klíčit *Aspergillus flavus* nebo *Aspergillus paraciticus*.

90 % HCC je diagnostikováno v ekonomicky rozvinutých zemích u obyvatel až po 45. věku, zatímco v zemích s vyšší pravděpodobností onemocnění (mezi něž patří ekonomicky méně rozvinuté země v Asii a v subsaharské Africe), už v 20 letech věku (Wogan et al. 2012). Na obr. č. 18 můžeme vidět HCC, kde si lze všimnout více sdružených buněk do jednoho shluku.

Obr. č. 18: HCC



<https://www.cancernetwork.com/slideshows/slide-show-hepatocellular-carcinoma>

### 3.3.4 Aflatoxikóza

Onemocnění aflatoxikóza je zapříčiněno požitím potravin, které jsou napadeny rodem *Aspergillus*. Aflatoxikóza se projevuje nejčastěji vysokými horečkami, tmavě zbarvenou močí, otokem dolních končetin, silným zvracením, žloutenkou, vysokým tlakem a značnou úmrtností při nevhodném zahájení léčby. Toto onemocnění se mnohdy vyskytuje u chudšího obyvatelstva, které je nuceno z důvodu ekonomických okolností požívat i aflatoxiny napadené potraviny, hlavně zaplísňenou kukuřici (Dhanasekaran et al. 2011).

První zmínka o aflatoxikóze byla popsána v západní Indii údajně ze silně zplesnivělé kukuřice. Vzorky byly analyzovány a ukázaly, že obsahují 6 – 16 mg aflatoxinů/kg kukuřice. Kontaminovaná kukuřice byla požitá obyvateli ve více než 200 vesnicích, kdy okolo 400 lidí bylo ošetřeno. Ze 400 lidí došlo u 100 pacientů k fatálnímu konci, nejčastěji v důsledku selhání trávicího traktu, konkrétně jeho krvácení, což připomínalo otravu aflatoxiny u psů (Eaton & Groopman 1994).

### 3.3.5 Reyův syndrom

Poprvé byl podrobně popsán v roce 1963 australským patologem Ralphem Douglasem Kennethem Reyem klinický průběh syndromu. Na počest autorů, kteří ji poprvé popsali, se tato choroba nazývala „Reye – Morgan – Baralův syndrom“. Následně však byla zavedena zkrácená verze názvu tohoto syndromu na „Reyeův syndrom“.

Klinický popis choroby v 21 případech byl popsán v souladu s akutní zánětlivou encefalopatií (onemocnění mozku). Vyskytly se také změny duševního stavu a různé stupně sníženého vědomí, zvracení, tachypnoe (zrychlené dýchání), hypoglykémie a zvýšená aktivita fermentů jater. Z 21 dětí, jejichž příznaky byly popsány R. Reyeem, 17 zemřelo během prvních tří dnů onemocnění (Malíř & Ostrý 2003).

### 3.3.6 Balkánská endemická nefropatie

Balkánská endemická nefropatie (BEN) je chronické onemocnění ledvin často spojené s rakovinou horních urothelů (močových epitelů). Vyskytuje se pouze u obyvatele konkrétních zemědělských vesnic nacházejících se podél přítoků Dunaje v Bosně a Hercegovině, Chorvatsku, Makedonii, Srbsku, Bulharsku a Rumunsku, kde se odhaduje, že asi 100 000 jedinců je ohroženo BEN, zatímco přibližně 25 000 jedinců je přímo postižených touto chorobou. Během posledních 50 let bylo formulováno několik hypotéz o příčině BEN, včetně mykotoxinů, těžkých kovů, virů a možnosti nedostatku stopových prvků v těle (Stiborová et al. 2016).

U člověka dochází k projevům této nemoci atrofii (snížení funkce orgánu), kdy toto onemocnění je dále provázáno anémií (chudokrevností), rychlou ztrátou hmotnosti a velmi silnou bolestí hlavy.



Původcem této choroby je označován ochratoxin A, který intoxikuje tělo příjmem malých dávek tohoto mykotoxinu v potravinách. Hlavně v kukuřici a fazolích, kdy přesahoval hodnotu 10  $\mu\text{kg}$  (Stiborová et al. 2016).

### 3.4 Prevence výskytu plísní a vzniku mykotoxinů

Mnoho potravin je vhodnou živnou půdou pro mikroorganismy, proto spousta mezičlánků od sklizně až po distribuci ke spotřebiteli je silně ohrožena vznikem plísní a musí být velmi kontrolována. Žádná z potravin nesmí být nositelem patogenních či toxigenních mikroorganismů, jinak by vzniklo riziko ohrožení zdraví konzumenta. Veškeré provozy musí dodržovat spoustu hygienických nařízení, která jsou průběžně kontrolována. Mezi jedny z hlavních rizik vzniku kontaminace jsou špatně přístupná místa v provozech, jako jsou například různé potrubní záhyby, které musí být pravidelně čištěny (Šilhánková 1995).

Mykotoxiny se do těla dostávají nejčastěji díky špatně uskladněným potravinám. Jedním z hlavních faktorů je vlhkost a teplota, kdy většina mikromycet potřebuje pro svůj růst vysokou relativní vlhkost od 10 – 25 % (Malíř & Ostrý 2003). Proto se musí většina zrn, dle nařízení Evropské unie, usušit na méně jak 10% vlhkost (Otýpka 2017).

Růst vláknitých mikromycetů podporuje teplota, kdy pro každý druh je optimální jiná. Například rod *Aspergillus* potřebuje pro svůj rozvoj teplotu vyšší (asi 36° C) než rod *Fusarium*, který má své teplotní optimum okolo 15 – 25 °C. Ochratoxin A se syntetizuje při 12 – 24 °C a rod *Penicillium* má teplotní rozmezí mezi 4 °C a 30 °C.

Dalším důležitým faktorem pro rozvoj mykotoxinů je přítomnost kyslíku. Ty plísně, které potřebují více kyslíku, rostou spíše na povrchu. Uvnitř kontaminované potraviny rostou méně náročné mikromycety na přítomnost kyslíku. V jaké výši bude daná plíseň produkovat mykotoxiny je ovlivněno přítomností kyslíku. Pokud je koncentrace kyslíku u uskladněného obilí nižší než 0,5 %, bude snížena produkce aflatoxinů. Je obecně doporučováno používat klimatizace, které vhání do provozu mikrobiologicky čistý vzduch, jež je upraven na požadovanou teplotu a vlhkost (Šilhánková 1995).

Mezi biologické faktory, které ovlivňují přítomnost mykotoxinů a jejich rozšiřování v prostředí, patří hmyz. Tento faktor se nejvíce vyskytuje v tropických oblastech, kde je vyšší vlhkost vzduchu a přívětivější podnebí pro rozvoj mikromycetů. Hmyz je přenašečem spór, které se na něj uchytí a pomocí vnějšího poškození rostliny nebo zrna se spóra dostane na požadovaný substrát, kde se uchytí a začne růst.

Chemické faktory mají také své místo v ochraně před mykotoxiny. Bylo zjištěno, že pokud se dodrží pravidla pro použití pesticidů, sníží se riziko kontaminace mykotoxiny. Při nevhodné aplikaci podpoříme vznik mykotoxinů. Při pokusech na ječmeni s nevhodnou aplikací kyseliny propionové bylo zjištěno, že produkce aflatoxinu B<sub>1</sub> byla vyšší právě díky špatnému použití fungicidu (Malíř & Ostrý 2003). Chemické prostředky, které jsou využívány pro čištění nádob,

nesmí vykazovat či zanechávat po sobě pachy či ovlivňovat chuť potravin, nebo dokonce tyto potraviny kontaminovat.

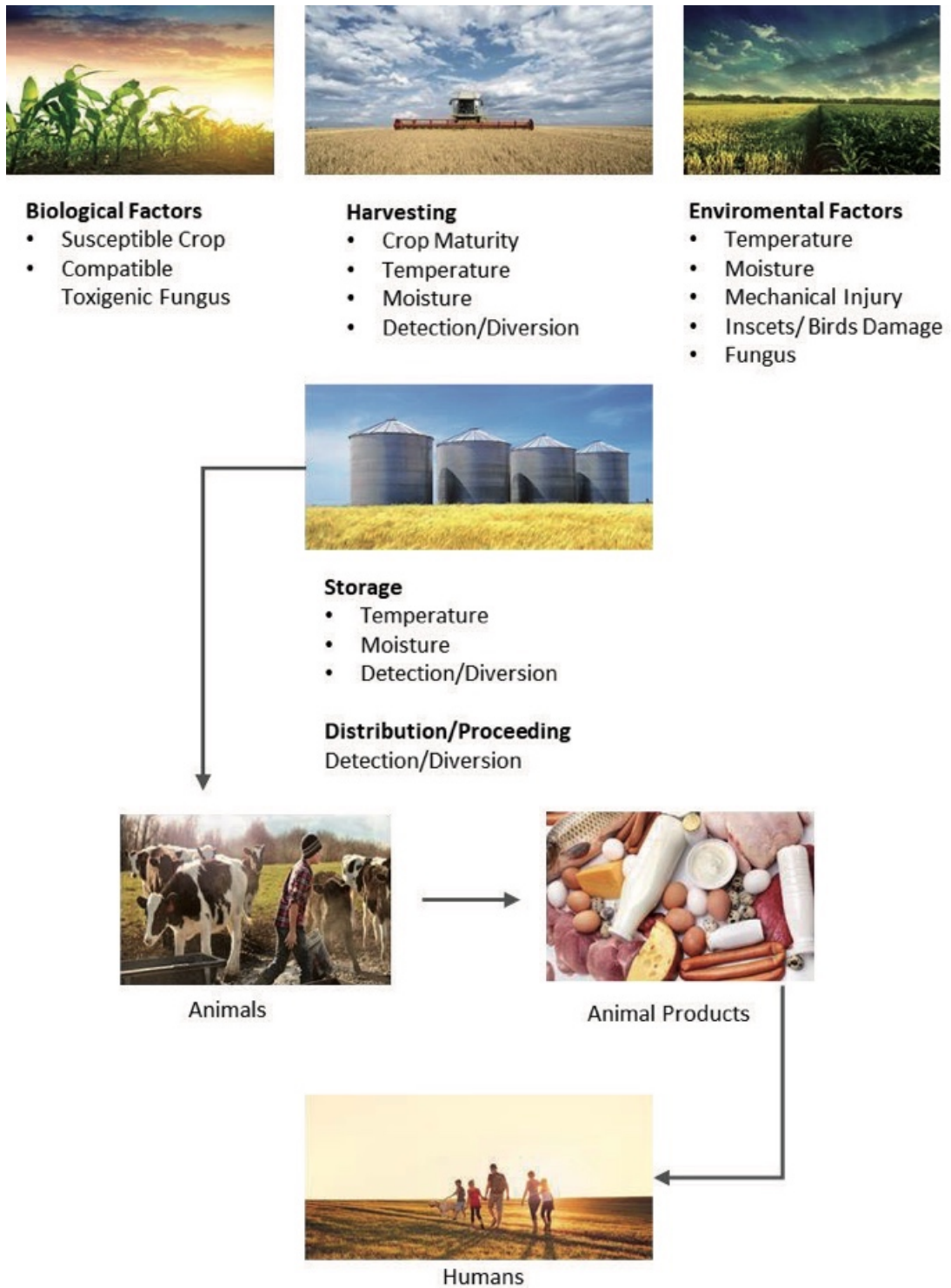
Z anorganických sloučenin se nejčastěji využívá hydroxid sodný (NaOH) a hydroxid draselný (KOH), protože narušují stěny buněk i jejich cytoplazmatickou membránu. Jsou ale velmi silné, proto se používají zřídka. Nejčastěji se používá hašené vápno ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) na čištění a desinfekci stěn a kvasných kádí, kde se může utvořit potenciální riziko vzniku plísní.

Z organických kyselin se nejčastěji používá benzoová kyselina, jelikož se v potravinářství používá jako konzervant. Mravenčí kyselina se používá pro konzervaci ovocných šťáv, protože se její účinek zvyšuje v kyselém prostředí (Šilhánková 1995).

Na obr. č. 19 je vzorec faktorů, které na sebe postupně navazují během pěstování, sklizení a skladování. Mezi biologické faktory patří náchylná plodina a k ní vhodná toxigenní plíseň. Sklizeň je náročná na zachování správných sklizňových postupů: zralost plodin, teplota prostředí, vlhkost prostředí, předcházení či řešení problému před a během pěstování a sklizně. Vliv prostředí patří také mezi jeden ze zásadních faktorů, kde můžeme vyjmenovat dlouhodobou teplotu a vlhkost prostředí, mechanický zásah člověka do krajiny, hmyzí a ptačí škůdce a plísně. Při skladování je velmi důležité hlídat teplotu a vlhkost, stejně tak jako předcházení zaplísnění. Pokud objevíme ložiska plísně, je nejdůležitější ihned zasáhnout, plíseň rozpoznat a zabránit jejímu následnému šíření. Stejně musíme i postupovat i při přepravě zboží.

Pokud se plodina používá jako krmivo pro hospodářská zvířata, zde se musí hlídat to, aby potrava nezplesnivěla. Pokud se tomu již tak stane, musíme krmivo zlikvidovat a zvířatům nepodávat. Pokud zvíře požije plesnivé krmivo, mohou vzniknout závažné zdravotní potíže, kdy může dojít i k jejich úhynu. Pokud se onemocnění nezachytí včas, je možný přenos mykotoxinů do živočišných produktů určených pro člověka, zejména pak maso a mléko. Pokud již člověk požije výrobek, jenž obsahuje mykotoxiny, a je buď rostlinného nebo živočišného původu, začnou se ukládat do lidských orgánů a tkání a při dlouhodobějším přísunu malých dávek mykotoxinů mohou vznikat závažná onemocnění, která nás mohou ohrožovat i na životě. Proto musíme být velmi obezřetní, co jíme a odkud potravina pochází.

Obr. č. 19: Faktory ovlivňující vznik mykotoxinů v potravinách



(Cinar & Onbaşı 2019)

### 3.5 Legislativní limity mykotoxinů

Podle nařízení Komise (ES) č. 1881/2006 ze dne 19. prosince 2006 jsou stanoveny maximální limity obsahu kontaminujících látek v potravinách. Výběr:

#### 3.5.1 Aflatoxin B<sub>1</sub>

- NAŘÍZENÍ KOMISE (ES) č. 1881/2006 ze dne 19. prosince 2006, kterým se stanoví maximální limity některých kontaminujících látek v potravinách
  - Jádra podzemnice olejná a ostatní olejnatá semena, jež mají být před použitím k lidské spotřebě nebo před použitím jako potravinová složka tříděna nebo jinak fyzikálně ošetřena s výjimkou - jader podzemnice olejná a ostatních olejnatých semen určených na drcení na výrobu rafinovaného rostlinného oleje – 8 µg/kg
  - Mandle, pistácie a meruňková jádra, jež mají být před použitím k lidské spotřebě nebo před použitím jako potravinová složka tříděna nebo jinak fyzikálně ošetřena – 12 µg/kg
  - Lískové ořechy a para ořechy, jež mají být před použitím k lidské spotřebě nebo před použitím jako potravinová složka tříděny nebo jinak fyzikálně ošetřeny – 8 µg/kg
  - Jádra podzemnice olejná a ostatní olejnatá semena a z nich zpracované výrobky určené k přímé lidské spotřebě nebo k použití jako potravinová složka s výjimkou – surových rostlinných olejů určených na rafinaci - rafinovaných rostlinných olejů – 2 µg/kg
  - Mandle, pistácie a meruňková jádra určená k přímé lidské spotřebě nebo k použití jako potravinová složka – 8 µg/kg
  - Lískové ořechy a para ořechy určené k přímé lidské spotřebě nebo k použití jako potravinová složka – 5 µg/kg
  - Kukuřice a rýže, jež mají být před použitím k lidské spotřebě nebo před použitím jako potravinová složka tříděny nebo jinak fyzikálně ošetřeny – 5 µg/kg

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?qid=1577696874511&uri=CELEX:02006R1881-20180319>

#### 3.5.2 Ochratoxin A

- Nezpracované obiloviny – 5 µg/kg
- Sušené hrozny révy vinné (korintky, rozinky, sultánky) – 10 µg/kg
- Pražená kávová zrna a mletá pražená káva kromě rozpustné – 5 µg/kg
- Rozpustná káva (instantní) – 10 µg/kg
- Víno (včetně šumivého vína, s výjimkou likérového vína a vína s obsahem alkoholu nejméně 15 % objemových) a ovocné víno – 2 µg/kg

- Hroznová šťáva, rekonstituovaná koncentrovaná hroznová šťáva, hroznový nektar, rekonstituovaný hroznový mošt a rekonstituovaný koncentrovaný hroznový mošt určené pro lidskou spotřebu – 2 µg/kg
- Obilné příkrmy a ostatní příkrmy určené pro kojence a malé děti – 0,50 µg/kg
- *Piper spp.* (pepř), *Myristica fragrans* (muškátový oříšek), *Zingiber officinale* (zázvor), *Curcuma longa* (kurkuma) – 15 µg/kg

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?qid=1577696874511&uri=CELEX:02006R1881-20180319>

### 3.5.3 Patulin

- Ovocné šťávy, rekonstituované koncentrované ovocné šťávy a ovocné nektary – 50 µg/kg
- Pevné výrobky z jablek, včetně jablečného kompotu a jablečného pyré určené k přímé lidské spotřebě kromě potravin uvedených v 2.3.4 a 2.3.5 – 25 µg/kg
- Jablečná šťáva a pevné výrobky z jablek, včetně jablečného kompotu a jablečného pyré, pro kojence a malé děti, takto označené a prodávané – 10 µg/kg
- Jiné než obilné příkrmy pro kojence a malé děti – 10 µg/kg

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?qid=1577696874511&uri=CELEX:02006R1881-20180319>

### 3.5.4 Fumonisin

- Kukuřice určená k přímé lidské spotřebě, kukuřičné potraviny k přímé lidské spotřebě kromě potravin uvedených v bodech 2.6.3 a 2.6.4 – 1000 µg/kg
- Kukuřičné snídaně cereálie a svačinky z kukuřice – 800 µg/kg
- Kukuřičné příkrmy a ostatní příkrmy určené pro kojence a malé děti – 200 µg/kg

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?qid=1577696874511&uri=CELEX:02006R1881-20180319>

### 3.5.5 Deoxynivalenol

- Nezpracované obiloviny, jiné než pšenice tvrdá, oves a kukuřice – 1250 µg/kg
- Nezpracovaná pšenice tvrdá a oves – 1750 µg/kg
- Obiloviny určené k přímé lidské spotřebě, obilná mouka, otruby a klíčky ve formě konečného výrobku uváděného na trh pro přímou lidskou spotřebu kromě potravin uvedených v bodech 2.4.7, 2.4.8 a 2.4.9 – 750 µg/kg
- Těstoviny (v suchém stavu) – 750 µg/kg
- Pečivo (včetně malého běžného pečiva), jemné a trvanlivé pečivo, sušenky, svačinky z obilovin a snídaně cereálie – 500 µg/kg

- Obilné příkrmy a ostatní příkrmy pro kojence a malé děti – 200 µg/kg

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?qid=1577696874511&uri=CELEX:02006R1881-20180319>

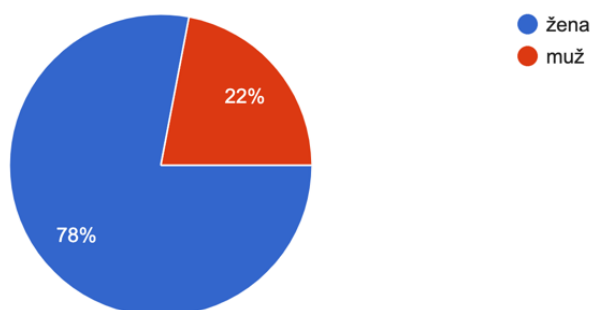
## 4 Dotazník

Součástí této bakalářské práce je i dotazník, který by měl vypovídat o povědomí lidí o mykotoxinech.

Dotazník jsem rozeslala přes známé do firem, škol a dalších institucí, abych měla co nejširší věkové spektrum. Otázky jsem sestavovala tak, aby i méně informovaní lidé tomuto problému rozuměli a dokázali zodpovědět jednotlivé otázky. Otázek bylo celkem 9 a odpovědělo na ně 309 respondentů, kdy z genderového hlediska odpovídaly více ženy. Nejčastější věk dotazovaných byl mezi 18 – 26 lety, častěji odpovídali lidé se středním vzděláním zakončeným státní maturitní zkouškou. Součástí dotazníku bylo zjištění nákupu oříšků podle způsobu balení a hlavně podle země původu.

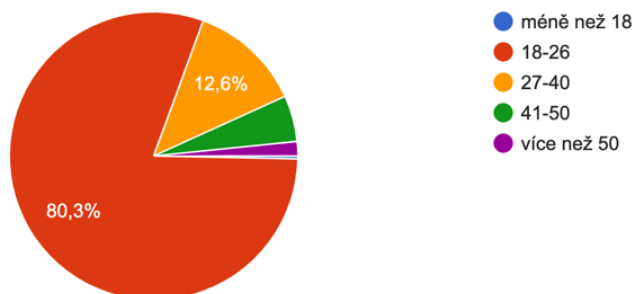
### 1. Jakého jste pohlaví?

309 odpovědí



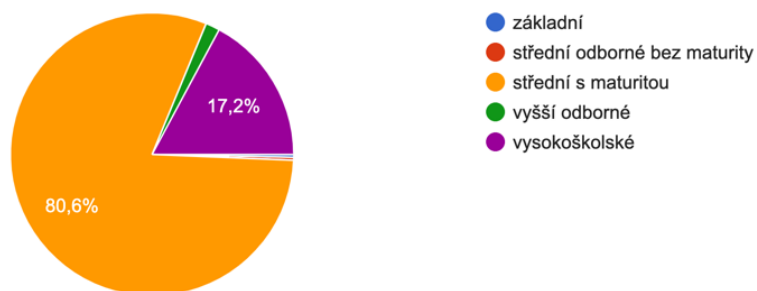
## 2. Kolik je Vám let?

309 odpovědí



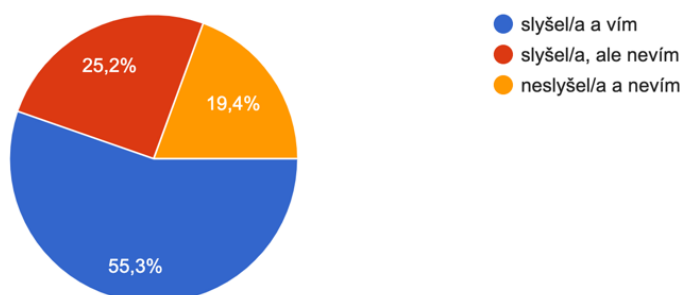
## 3. Jaké máte vzdělání?

309 odpovědí



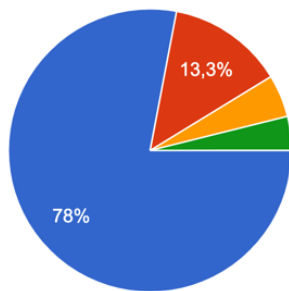
## 4. Víte, co jsou mykotoxiny (tzn., zda jste tento výraz již někdy slyšeli a víte co znamená)?

309 odpovědí



## 5. Kde nakupujete oříšky?

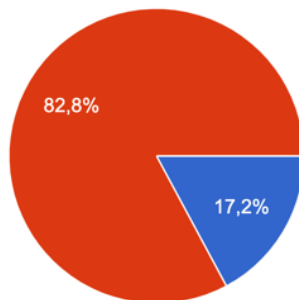
309 odpovědí



- běžný obchod
- specializovaný obchod s oříšky, sušenými plody
- bio obchod
- trh/tržnice

## 6. Jaký typ balení oříšků kupujete?

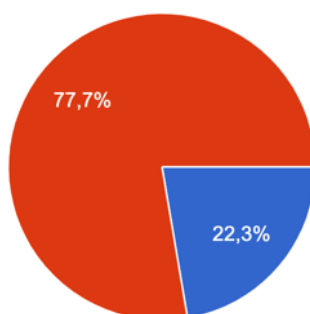
309 odpovědí



- volně vážené
- balené

## 7. Zajímáte se u oříšků o výraz "Země původu" ?

309 odpovědí

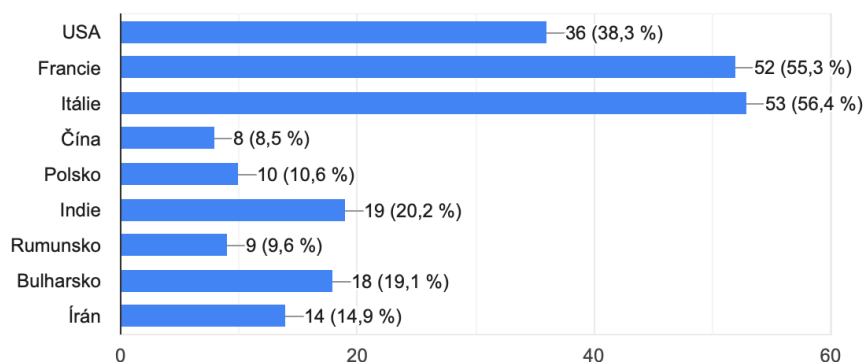


- ano, zajímám se
- ne, nezajímám se



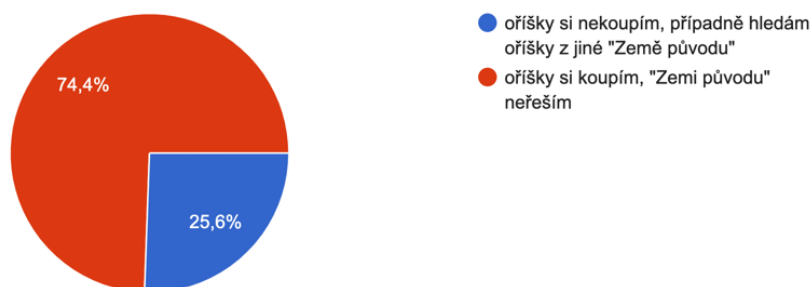
8. Jaké "Země původu"\* (za předpokladu, že Vás tento údaj zajímá a řešíte jej) preferujete? \*zde uvádím výčet zemí, ze kterých se oříšky do ČR dovážejí nejčastěji

94 odpovědí



9. Jak se chováte, pokud Vám "Země původu" (z jakýchkoli důvodů) nevyhovuje?

309 odpovědí



Z výsledků dotazníku vyplynulo, že více jak polovina respondentů ví a zná pojem mykotoxiny. Většina dotazovaných ale neřeší zemi původu, odkud jsou jimi kupované oříšky dovezeny. Podle výčtu z otázky č. 8, ze zemí dovážejících oříšky do České republiky, je patrné, že většina respondentů dává přednost zemím Evropské unie, než zemím, které jsou známé ne příliš dokonalou legislativou tuto oblast upravující, možná také z důvodu jiných (ve smyslu slova nižších) hygienických předpisů a standardů. Právě země, které mají u respondentů nejmenší důvěru, jsou jedny s nejvíce problémovými zásilkami ořechů.

Níže příkládám výčet zadržených potravin z webové stránky Státní zemědělské a potravinářské inspekce (SZPI), které neprošly kontrolou. Veškeré informace o SZPI zadržených dodávkách jsou sdíleny napříč celou Evropskou unií přes její informační systém, který se jmenuje RASFF – The Rapid Alert System for Food and Feed.

V roce 2011 SZPI stáhla z prodeje pistácie (výrobce: IBK TRADE, původem z Íránu od firmy MB INDUSTRY s.r.o. Chrastava) prodávané společností AHOLD Czech Republic a.s., které obsahovaly nadlimitní počet aflatoxinů.

<https://www.szpi.gov.cz/clanek/inspekce-stahla-z-trhu-prazene-pistacie-s-nadmernym-mnozstvím-aflatoxinu.aspx?q=JmNobnVtPTEmaGw9bXlrb3RveGlu>

Velmi vysoké překročení limitů pro aflatoxiny u potraviny „Pistácie“ bylo zadrženo SZPI v roce 2013. 200g balení výrobce společnosti COMPARE, spol. s.r.o., ze země původu Írán, se sídlem na adrese Moskevská 1e/1104, 736 01 Havířov – město, s minimální trvanlivostí do 2.5. 2014 obsahovalo 574 µg/kg aflatoxinů, což je 115x více nad povolený limit 5 µg/kg.

<https://www.szpi.gov.cz/clanek/varovani-spotrebitelum-mnohonasobne-prekroceni-limitu-aflatoxinu-u-pistacii.aspx?q=JmNobnVtPTEmaGw9cGlzdMOhY2ll>

Dne 10.11. 2017 byla vydána zpráva o zadržení 2 tun Natural Hazelnut – lískové ořechy, země původu Ázerbájdžán, výrobce: ALI SAID LL/Azerbaijan Origin, dodavatel: Helios Ingrediens Ltd., Serendib House, Boston Manor Road 67A, GB 100000 Brentford. Laboratorní rozbor zjistil přítomnost aflatoxinů v množství 59,4 µg/kg (povolený limit je 5 µg/kg).

<https://www.szpi.gov.cz/clanek/potravinarska-inspekce-nevpustila-do-cr-pres-26-tun-nebezpecnych-potravin.aspx?q=JmNobnVtPTEmaGw9bXlrb3RveGlu>

Státní zemědělská a potravinářská inspekce dne 14.3. 2019 zakázala prodávat potravinu "DLE GUSTA SUCHÉ PLODY - sušené ROZINKY", země původu: Írán, pro skupinu COOP vyrábí: ENCINGER SK s.r.o., Jadranská 13, 841 01 Bratislava, Slovensko, kdy rozbor ukázal 22,7 µg/kg, což je dvojnásobně překročené množství ochratoxinu A (10 µg/kg).

<https://www.szpi.gov.cz/clanek/potravinarska-inspekce-zakazala-rozinky-s-nadlimitnim-mnozstvím-toxicke-latky.aspx?q=JmNobnVtPTEmaGw9b2NocmF0b3hpbjBh>

## 5 Závěr

Náš organismus je po celý den vystavován možným vlivům toxických produktů plísní, tedy mykotoxinů, které se nejčastěji vyskytují ve špatně uskladněných potravinách, jež jsou následně námi zkonsumovány. Lidský organismus na to může reagovat různě, závisí na konkrétním zdravotním stavu každého jedince, zejména pak ale také na množství a četnosti požívání stravy kontaminované konkrétními mykotoxiny. Citlivější jedinci, či lidé, konzumující takto napadené potraviny častěji, mohou mít závažné zdravotní problémy končící dokonce i smrtí.

V kontextu všech výše uvedených možných rizik plyne jednoznačné doporučení: více a hlouběji se zabývat mykotoxiny a více a častěji se věnovat cíleným kontrolám potravin. Jelikož pravidelně dochází Státní zemědělskou a potravinářskou inspekcí k zastavování zásilek z jiných zemí, je potřeba dbát na tyto kontroly a v této činnosti nepolevovat s cílem snažit se co nejvíce zabránit dodání nevyhovujících, mnohdy i dle platné legislativy mykotoxiny několikanásobně kontaminovaných potravin koncovým spotřebitelům. SZPI zadržené a nebezpečné zboží je následně třeba likvidovat, aby bylo 100% zamezeno uniknutí tohoto zboží zpět do oběhu.

Z budoucího vývoje klimatu lze vyvodit, že v blízké budoucnosti se budeme muset více zabývat studiem plísní a jejich produktů – mykotoxinů, jelikož se pomalu, ale jistě, mění klima, které již nyní je a bude ještě více přívětivější pro vznik plísní. Hlavním faktorem ovlivňujícím rozvoj a rozšiřování plísní bude zvyšující se průměrná teplota, která vytvoří vhodnější podmínky pro vývoj toxigenních plísní a pravděpodobně i zvyšující se vlhkost, jež také podporuje jejich růst.

Zároveň by bylo také velmi vhodné celosvětově zvýšit povědomí o mykotoxinech a jejich vlivu na zdraví člověka, neboť mnohdy dokážeme být nezodpovědní sami vůči sobě například jen tím, že se dostatečně nezajímáme o kvalitu potravin, případně vůbec neřešíme, zda jsou potraviny stále požitelné ve smyslu překročení maximálního data jejich spotřeby. Ne vždy lze tyto parametry (kvalitu, datum spotřeby, původ) ovlivnit, zejména v zemích, kde lidé obecně trpí nedostatkem potravin, právě proto by se ale měli celosvětové zdravotnické organizace maximálně snažit o zajištění dostatku kvalitních potravin a surovin pro jejich vznik, neboť se mi zdá zbytečné, aby lidé umírali zbytečně jen proto, že s potravinami nebylo dobře zacházeno ať již při jejich vzniku, skladování či přepravě ke konečnému spotřebiteli.

## 6 Souhrn literatury

### 6.1 Přehled literatury

Abrunhosa L, Morales H, Soares C, Calado T, Vila-Chã AS, Pereira M, Venâncio A. 2013. A Review of Mycotoxins in Food and Feed Products in Portugal and Estimation of Probable Daily Intakes. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **56**:249-265. Available from <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10408398.2012.720619> (accessed September 23, 2019).

Bennett JW, Klich M. 2003. Mycotoxins. *Clinical Microbiology Reviews* **16**:497-516. Available from <http://cmr.asm.org/cgi/doi/10.1128/CMR.16.3.497-516.2003> (accessed February 14, 2019).

Betina V. 1990. *Mykotoxíny: Chémia - biológia - ekológia*. Alfa, Bratislava.

Bhat R, Rai RV, Karim AA. 2010. Mycotoxins in Food and Feed: Present Status and Future Concerns. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* **9**:57-81. Available from <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1541-4337.2009.00094.x> (accessed September 23, 2019).

Bosco F, Molle C. 2012. Mycotoxins in Food. in *Food Industrial Processes - Methods and Equipment*. InTech. Available from <http://www.intechopen.com/books/food-industrial-processes-methods-and-equipment/mycotoxins-in-food> (accessed December 29, 2019).

Brůha R, Šperl J, Urbánek P, Špičák J, Kiss I, Válek V, Oliverius M, Honsová E, Husa P, Mejzlík V. 2012. Doporučený postup pro léčbu a diagnostiku hepatocelulárního karcinomu. *Gastroent Hepatol* **66**:83-92.

Carnaghan RBA, Hartley RD, O'Kelly J. 1963. Toxicity and Fluorescence Properties of the Aflatoxins. *Nature* **200**:1101-1101. Available from <http://www.nature.com/articles/2001101a0> (accessed November 01, 2019).

Ciegler A, Bennett JW. 1980. Mycotoxins and Mycotoxicoses. *BioScience* **30**:512-515. Available from <https://academic.oup.com/bioscience/article-lookup/doi/10.2307/1307970> (accessed September 19, 2019).

Cinar A, Onbaşı E. 2019. Mycotoxins: The Hidden Danger in Foods. in *Mycotoxins and Food Safety [Working Title]*. IntechOpen. Available from <https://www.intechopen.com/online-first/mycotoxins-the-hidden-danger-in-foods> (accessed December 29, 2019).

Darwish WS, Ikenaka Y, Nakayama SMM, Ishizuka M. 2014. An Overview on Mycotoxin Contamination of Foods in Africa. *Journal of Veterinary Medical Science* **76**:789-797. Available from <http://jlc.jst.go.jp/DN/JST.JSTAGE/jvms/13-0563?lang=en&from=CrossRef&type=abstract> (accessed December 29, 2019).

Dhanasekaran D, Shanmugapriya S, Thajuddin N, Panneerselvam A. 2011. Aflatoxins and Aflatoxicosis in Human and Animals. in *Aflatoxins - Biochemistry and Molecular Biology*. InTech. Available from <http://www.intechopen.com/books/aflatoxins-biochemistry-and-molecular-biology/aflatoxins-and-aflatoxicosis-in-human-and-animals> (accessed November 15, 2019).

Diaz DE. 2005. *The Mycotoxin Blue Book*. Context Products, Ashby de la Zouch.

Dismukes WE, Pappas PG, Sobel JD. 2003. *Clinical mycology*. Oxford University Press, New York.

Eaton DL, Groopman JD. 1994. *The Toxicology of Aflatoxins. Human Health, Veterinary, and Agricultural Significance*. Academic Press, San Diego.

Egbuta M, Mwanza M, Babalola O. 2017. Health Risks Associated with Exposure to Filamentous Fungi. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **14**. Available from <http://www.mdpi.com/1660-4601/14/7/719> (accessed December 28, 2019).

El Khoury A, Atoui A. 2010. Ochratoxin A: General Overview and Actual Molecular Status. *Toxins* **2**:461-493. Available from <http://www.mdpi.com/2072-6651/2/4/461> (accessed February 01, 2020).

Fabian SJ, Maust MD, Panaccione DG, Dudley EG. 2018. Ergot Alkaloid Synthesis Capacity of *Penicillium camemberti*. *Applied and Environmental Microbiology* **84**:e01583-18. Available from <http://aem.asm.org/lookup/doi/10.1128/AEM.01583-18> (accessed December 28, 2019).

Fleming A. 1944. Penicillin in venereal diseases -1. *Sexually Transmitted Infections* **20**:133-136. Available from <http://sti.bmj.com/cgi/doi/10.1136/sti.20.4.133> (accessed December 28, 2019).

Han B-Z, Ma Y, Rombouts FM, Robert Nout MJ. 2003. Effects of temperature and relative humidity on growth and enzyme production by *Actinomucor elegans* and *Rhizopus oligosporus* during sufu pehtze preparation. *Food Chemistry* **81**:27-34. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814602003473> (accessed June 09, 2020).

Harčárová M, Čonková E, Sihelská Z, Böhmová E, Goldírová K. 2018. Najvýznamnejšie mykotoxíny rodu *Fusarium*. *Chemické listy* **112**:159-164.

Hesseltine CW, Vandegraft EE, Fennell DI, Smith ML, Shotwell OL. 1972. *Aspergilli as Ochratoxin Producers*. *Mycologia* **64**. Available from <https://www.jstor.org/stable/10.2307/3757871?origin=crossref> (accessed September 19, 2019).

Holzappel CW. 1968. The isolation and structure of cyclopiazonic acid, a toxic metabolite of *penicillium cyclopium westling*. *Tetrahedron* **24**:2101-2119. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/004040206888113X> (accessed September 25, 2019).

- Horák P. 2011. Specifická antimykotika a jejich použití u vybraných patologických stavů: Specific antifungals and their use in the therapy of selected diseases. *Praktické lékárnictvo* **1**:8-11. SOLEN, Bratislava.
- Houbraken J, Frisvad JC, Samson RA. 2011. Fleming's penicillin producing strain is not *Penicillium chrysogenum* but *P. rubens*. *IMA Fungus* **2**:87-95. Available from <https://imafungus.biomedcentral.com/articles/10.5598/imafungus.2011.02.01.12> (accessed December 28, 2019).
- Hussein HS, Brasel JM. 2001. Toxicity, metabolism, and impact of mycotoxins on humans and animals. *Toxicology* **167**:101-134.
- Hymery N, Masson F, Barbier G, Coton E. 2014. Cytotoxicity and immunotoxicity of cyclopiazonic acid on human cells. *Toxicology in Vitro* **28**:940-947. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0887233314000666> (accessed September 25, 2019).
- International Agency for Research on Cancer. 1993. Some naturally occurring substances: food items and constituents, heterocyclic aromatic amines and mycotoxins. International Agency for Research on Cancer, Lyon.
- Jackson LS, DeVries JW, Bullerman LB. 1996. *Fumonisin in Food*. Springer US, Boston, MA.
- Kalhotka L. 2014. *Mikromycety v prostředí člověka: vláknité mikromycety (plísňe) a kvasinky*. Mendelova univerzita, V Brně.
- Kousha M, Tadi R, Soubani AO. 2011. Pulmonary aspergillosis: a clinical review. *European Respiratory Review* **20**:156-174. Available from <http://err.ersjournals.com/cgi/doi/10.1183/09059180.00001011> (accessed November 05, 2019).
- Krijgsheld P, Bleichrodt R, van Veluw GJ, Wang F, Müller WH, Dijksterhuis J, Wösten HAB. 2013. Development in *Aspergillus*. *Studies in Mycology* **74**:1-29. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S016606161460083X> (accessed December 28, 2019).
- Kumar P, Mahato DK, Kamle M, Mohanta TK, Kang SG. 2017. Aflatoxins: A Global Concern for Food Safety, Human Health and Their Management. *Frontiers in Microbiology* **07**. Available from <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fmicb.2016.02170/full> (accessed February 14, 2019).
- Le Bars J. 1979. Cyclopiazonic acid production by *Penicillium camemberti* Thom and natural occurrence of this mycotoxin in cheese. *Applied and Environmental Microbiology* **38**:1052-1055.

Malíř F, Ostrý V. 2003. Vlákňité mikromycety (plísňě), mykotoxiny a zdraví člověka. Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, Brno.

Omotayo OP, Omotayo AO, Mwanza M, Babalola OO. 2019. Prevalence of Mycotoxins and Their Consequences on Human Health. *Toxicological Research* **35**:1-7.

Ostrý V, Polster M. 1989. Detection of cyclopiazonic acid and its producers in food. *Veterinární medicína* **34**:421-430. Praha.

Otýpka R. 2017. Správné větrání při skladování obilí a jak ho dosáhnout. in *Agrojournal*. Vega, Hradec Králové. Available from <https://www.agrojournal.cz/clanky/spravne-vetrani-pri-skladovani-obili-a-jak-ho-dosahnout-288> (accessed December 28, 2019).

Palliyaguru DL, Wu F. 2013. Global geographical overlap of aflatoxin and hepatitis C: controlling risk factors for liver cancer worldwide. *Food Additives & Contaminants: Part A* **30**:534-540. Available from <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/19440049.2012.751630> (accessed November 08, 2019).

Patočka J. 2004. *Vojenská toxikologie*. Grada, Praha.

Patriarca A, Fernández Pinto V. 2018. *Alternaria*. 1-8 in Reference Module in Food Science. Elsevier. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780081005965225729> (accessed February 24, 2020).

Pestka JJ, Smolinski AT. 2005. Deoxynivalenol: Toxicology and Potential Effects on Humans. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B* **8**:39-69. Available from <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10937400590889458> (accessed February 14, 2019).

Ruprich J. 1997. Mykotoxin ochratoxin A : hodnocení nebezpečnosti a zdravotního rizika. Státní zdravotní ústav v Praze, Brno.

Shi W, Tan Y, Wang S, Gardiner D, De Saeger S, Liao Y, Wang C, Fan Y, Wang Z, Wu A. 2017. Mycotoxigenic Potentials of Fusarium Species in Various Culture Matrices Revealed by Mycotoxin Profiling. *Toxins* **9**. Available from <http://www.mdpi.com/2072-6651/9/1/6> (accessed December 28, 2019).

Schindler J. 2014. *Mikrobiologie: pro studenty zdravotnických oborů* 2. dopl. a přeprac. vyd.. Grada, Praha.

Stiborová M, Arlt VM, Schmeiser HH. 2016. Balkan endemic nephropathy: an update on its aetiology. *Archives of Toxicology* **90**:2595-2615. Available from <http://link.springer.com/10.1007/s00204-016-1819-3> (accessed February 01, 2020).

Sweeney MJ, Dobson ADW. 1998. Mycotoxin production by *Aspergillus*, *Fusarium* and *Penicillium* species. *International Journal of Food Microbiology* **43**:141-158.

Šilhánková L. 1995. Mikrobiologie pro potravináře a biotechnology 2. vyd. Victoria Publishing, Praha.

Vesonder RF, Ciegler A, Jensen AH. 1973. Isolation Of the Emetic Principle from Fusarium-Infected Corn. *Applied Microbiology* **26**:1008-1010. U.S.A.

Votava M. 2003. Lékařská mikrobiologie speciální. Neptun, Brno.

Wang J-S, Tang L. 2008. Epidemiology of Aflatoxin Exposure and Human Liver Cancer. *Journal of Toxicology: Toxin Reviews* **23**:249-271. Available from <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1081/TXR-200027834> (accessed November 05, 2019).

Wogan GN, Kensler TW, Groopman JD. 2012. Present and future directions of translational research on aflatoxin and hepatocellular carcinoma. A review. *Food Additives & Contaminants: Part A* **29**:249-257. Available from <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/19440049.2011.563370> (accessed November 08, 2019).

Woloshuk CP, Shim W-B. 2013. Aflatoxins, fumonisins, and trichothecenes: a convergence of knowledge. *FEMS Microbiology Reviews* **37**:94-109. Available from <https://academic.oup.com/femsre/article-lookup/doi/10.1111/1574-6976.12009> (accessed September 23, 2019).

Yoshizawa T, Morooka N. 2014. Deoxynivalenol and Its Monoacetate: New Mycotoxins from *Fusarium roseum* and Moldy Barley. *Agricultural and Biological Chemistry* **37**:2933-2934. Available from <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00021369.1973.10861103> (accessed June 02, 2020).

Zain ME. 2011. Impact of mycotoxins on humans and animals. *Journal of Saudi Chemical Society* **15**:129-144.

Zazula R, Schindler I, Spálený A, Vašáková M, Dutka J. 2005. Současný pohled na Mykotické plicní infekce. *Interní medicína pro praxi* **7**:349-353.



## 6.2 Internetové zdroje

Nařízení komise (ES) č.1881/2006 ze dne 19. prosince 2006, kterým se stanoví maximální limity některých kontaminujících látek v potravinách. Available from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?qid=1577696874511&uri=CELEX:02006R1881-20180319> (accessed February 2020).

Kopřiva P. SZPI. 2013. Varování spotřebitelům: mnohonásobné překročení limitu aflatoxinů u pistácií. SZPI, Brno. Available from <https://www.szpi.gov.cz/clanek/varovani-spotrebitelum-mnohonasobne-prekroceni-limitu-aflatoxinu-u-pistacii.aspx?q=JmNobnVtPTEmaGw9cGlzdMOhY2ll> (accessed January 2020)

Kopřiva P. SZPI. 2017. Potravinářská inspekce nevpustila do ČR přes 26 tun nebezpečných potravin. SZPI, Brno. Available from <https://www.szpi.gov.cz/clanek/potravinarska-inspekce-nevpustila-do-cr-pres-26-tun-nebezpecnych-potravin.aspx?q=JmNobnVtPTEmaGw9bXlrb3RveGlu> (accessed January 2020).

Kopřiva P. SZPI. 2019. Potravinářská inspekce zakázala rozinky s nadlimitním množstvím toxické látky. SZPI, Brno. Available from <https://www.szpi.gov.cz/clanek/potravinarska-inspekce-zakazala-rozinky-s-nadlimitnim-mnozstvím-toxicke-latky.aspx?q=JmNobnVtPTEmaGw9b2NocmF0b3hpbiBh> (accessed January 2020).

Spáčil M. SZPI. 2011. Inspekce ztáhla z trhu pražené pistácie s nadměrným množstvím aflatoxinů. SZPI, Brno. Available from <https://www.szpi.gov.cz/clanek/inspekce-stahla-z-trhu-prazene-pistacie-s-nadmernym-mnozstvím-aflatoxinu.aspx?q=JmNobnVtPTEmaGw9bXlrb3RveGlu> (accessed January 2020).

## 7 Seznam použitých zkratek a symbolů

AFB – aflatoxin B

AFB<sub>1</sub> – aflatoxin B<sub>1</sub>

AFB<sub>2</sub> – aflatoxin B<sub>2</sub>

AFG – aflatoxin G

AFG<sub>1</sub> – aflatoxin G<sub>1</sub>

AFG<sub>2</sub> – aflatoxin G<sub>2</sub>

BEN – Balkánská endemická nefropatie

CPK – cyklopiazonová kyselina

CT – výpočetní tomografie

DON – deoxynivalenol

HACCP – Systém analýzy rizika a stanovení kritických kontrolních bodů

HCC – hepatocelulární karcinom

OTA – ochratoxin A

RASFF – Systém rychlého varování pro potraviny a krmiva

RTG – rentgen

SCF - Scientific Committee for Food of European Commission

SZPI – Státní zemědělská a potravinářská inspekce

TA – tenuazonová kyselina

WHO – World Health Organization (Světová zdravotnická organizace)