Toxiny a sekundární metabolity hub v potravinách

Simona Pospíšilová

Bakalářská práce
2011

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav biochemie a analýzy potravin
akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Simona POSPÍŠILOVÁ**
Osobní číslo:	**T07190**
Studijní program:	**B 2901 Chemie a technologie potravin**
Studijní obor:	**Technologie a řízení v gastronomii**
Téma práce:	**Toxiny a sekundární metabolity hub v potravinách**

Zásady pro vypracování:

I. Teoretická část

1. Morfologie, fyziologie a rozdělení hub.
2. Charakteristika toxinů a sekundárních metabolitů hub.
3. Rozdělení mykotoxinů a sekundárních metabolitů hub.
4. Výskyt mykotoxinů v potravinách a v prostředí.
5. Účinky mykotoxinů na lidský organizmus a možnosti detoxikace.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

MALÍŘ, F., OSTRÝ, V. Vláknité mikromycety (plísně), mykotoxiny a zdraví člověka. Brno: NCO NZO, 2003.
BETINA, V. Mykotoxíny ? chémia, biológia, ekológia. Bratislava: Alfa, 1990.
MAGAN, N. Mycotoxins in Food: Detection and Control. Boca Raton: CRC Press, 2004
BŘEZINA, P., ŠIMŮNEK, J. Mykotoxiny. Vyškov: VVŠPV, 1996.
DIJKSTERHUIS, J., SAMSON, R. A. Food Mycology: A Multifaceted Approach to Fungi and Food. Boca Raton: CRC Press, 2007.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. RNDr. Leona Buňková, Ph.D.**
Ústav technologie tuků, tenzidů a kosmetiky

Datum zadání bakalářské práce: **25. února 2011**

Termín odevzdání bakalářské práce: **30. května 2011**

Ve Zlíně dne 23. března 2011

doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan

UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ
Fakulta technologická
L.S.

doc. Ing. Miroslav Fišera, CSc.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: POSPÍŠILOVÁ SIMONA Obor: TECHNOLOGIE A ŘÍZENÍ V GASTROHOMII

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby [1];
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 [2];
- beru na vědomí, že podle § 60 [3] odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 [3] odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 30. 5. 2017

Pospíšilová Simona

---

[1] *zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:*

(1) Vysoká škola nevýdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

[2)] zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

[3)] zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Současná moderní společnost je vystavena mnoha rizikovým faktorům. K takovým faktorům patří také mykotoxiny a toxinogenní plísně. Větší význam se u nás přikládá pozdním toxickým účinkům, jako jsou karcinogenita, imunotoxicita a vývojová toxicita, k nimž dochází přijímáním jednorázových nízkých dávek nebo opakovaných malých dávek z potravin. Je třeba co nejvíce chránit potraviny a krmiva před kontaminací plísněmi, proto je velmi důležité, aby potraviny byly správně skladovány v suchu a chladnu.

Klíčová slova: plísně, mykotoxiny, aflatoxin, ochratoxin, patulin, alimentární intoxikace

ABSTRACT

The contemporary modern society is exposed to many risk factors. Such factors include mycotoxins and toxigenic fungi. A greater importance is put on the late toxic effects such as carcinogenicity, immunotoxicity and developmental toxicity occurring by taking single low doses or repeated small doses from foods. It is neceséry to protect foods and feed from mould, therefore it is very important to store the foods which are susceptible to mold in a cool dry place.

Keywords: mycotoxins, aflatoxin, ochratoxin A, patulin, alimentary intoxication

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucí mé bakalářské práce, doc. RNDr. Leoně Buňkové Ph.D., za věnovaný čas, poskytnuté rady a odborné vedení při zpracování mé bakalářské práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD **9**
I TEORETICKÁ ČÁST **10**
1 MORFOLOGIE A FYZIOLOGIE HUB **11**
1.2 MIKROSKOPICKÉ HOUBY 11
1.3 MAKROSKOPICKÉ HOUBY 12
1.4 STAVBA BUŇKY HUB 12
2 CHARAKTERISTIKA MYKOTOXINŮ A SEKUNDÁRNÍCH METABOLITŮ HUB **14**
2.1 ROZDĚLENÍ MYKOTOXINŮ A SEKUNDÁRNÍCH METABOLITŮ HUB 15
2.1.1 Rozdělení mykotoxinů podle chemické struktury 15
2.1.2 Dělení mykotoxinů podle způsobu biosyntézy 17
2.1.3 Dělení toxinů podle toxicity 17
2.1.4 Rozdělení mykotoxinů podle účinku na organizmus 18
3 VÝSKYT MYKOTOXINŮ V POTRAVINÁCH A V PROSTŘEDÍ **20**
3.1 MYKOTOXINY A JEJICH VÝSKYT V PROSTŘEDÍ 20
3.2 MYKOTOXINY NEJČASTĚJI DETEKOVANÉ V POTRAVINÁCH 21
3.3 PREVENCE VÝSKYTU MYKOTOXINŮ 28
3.4 VYUŽITÍ MIKROMYCETŮ V POTRAVINÁŘSTVÍ 29
4 ÚČINKY MYKOTOXINŮ NA LIDSKÝ ORGANIZMUS A MOŽNOSTI DETOXIKACE **31**
4.1 PŘÍMÉ NAPADENÍ ČLOVĚKA HOUBOVITÝMI ORGANIZMY 31
4.2 MYKOTOXIKÓZY 31
4.2.1 Otravy jedovatými houbami 33
4.2.2 Příklady nejčastějších mykotoxikóz 34
4.2.3 Pulmonální mykotoxikóza 35
4.3 ALERGIE 36
4.4 METODY HODNOCENÍ EXPOZICE MYKOTOXINY 37
5 ZÁVĚR **39**
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY **40**
SEZNAM OBRÁZKŮ **42**
SEZNAM TABULEK **43**

ÚVOD

Současná moderní společnost je vystavena mnoha rizikovým faktorům, ke kterým v neposlední řadě patří různé chemické škodliviny v životním prostředí vznikající v důsledku lidské činnosti [1].

Toxinogenní mikromycety a mykotoxiny patří k významným faktorům, které mohou formou infekčního onemocnění, alergií či otravami negativně ovlivnit zdraví člověka [2].

Potraviny jsou vhodným substrátem pro růst vláknitých mikromycetů. Ke stanovení mykotoxinů se v současné době používá řada metod, založených na fyzikálních a chemických postupech. Každým rokem jsou objevovány a chemicky charakterizovány další nové toxické metabolity produkované vláknitými mikromycety [2].

V rámci dozorové činnosti zabezpečují sledování mykotoxinů v potravinách kontrolní organizace a výzkumná pracoviště v resortu zdravotnictví a zemědělství. Sledování výskytu mykotoxinů je zahrnuto do systému monitorování zdravotního stavu obyvatelstva ve vztahu k životnímu prostředí [2].

Mykotoxiny se v první řadě vyskytují v zemědělských plodinách, především obilovinách (pšenice, ječmen, žito, oves, rýže, kukuřice), dále olejnatých semenech (mák, řepka, hořčice, sojové boby, slunečnice) [3].

V posledních desetiletích byly objeveny toxické a karcinogenní látky naturálního původu, které mohou mít negativní vliv na lidský organismus. K takovým faktorům patří toxinogenní vláknité mikromycety nebo mykotoxiny v potravinách. Další možností je expozice člověka toxiny v pracovním prostředí [5].

I TEORETICKÁ ČÁST

1 MORFOLOGIE A FYZIOLOGIE HUB

Základem těla mikromycet je vegetativní vláknitý útvar – stélka (*thalus*) [22].

Stavební jednotkou stélky je duté vlákno – hyfa. Ta může být opatřena přehrádkou nebo je coenocytická (bez přehrádek). Typ přehrádky je charakteristický pro jednotlivá oddělení hub. Jednotlivé buňky hyfy mohou mít jedno jádro (monokaryotické mycelium), dvě jádra (dikaryotické mycelium) nebo víc genetiky odlišných jader (heterokaryóza) [23]. Cytoplazma buněk obsahuje strukturní útvary – endoplazmatické retikulum a mitochondrie, rozeznatelné pouze elektronovým mikroskopem. Vakuoly, jádro, polyfosforečnanová zrna a kapičky tuku můžeme zjistit v cytoplazmě již ve světelném mikroskopu. Soubor hyf tvoří mycelium. Barva mycelia je způsobena pigmenty, které zbarvují nejen buněčnou stěnu vegetativní částí plísní, ale hlavně jejich výtrusy – spory [23, 24].

Polokulovitý tvrdý útvar tvořený hustou spletí hyf se nazývá sklerocium. Vyskytuje se hlavně u druhů, u nichž není známá tvorba pohlavních ani vegetativních spor. Kožovitá spleť hyf se nazývá stroma a nalézá se často u plísní parazitujících na ovoci a jiném rostlinném materiálu. U některých rodů plísní se kolem jednotlivých buněk mycelia může vytvořit velmi silný obal. Obsah buňky se pak zahustí a vytvoří se chlamydyospory, které jsou odolné proti nepříznivým podmínkám [24].

Některé houby mají schopnost růst v kvasinkové nebo vláknité formě. Tento fenomén se nazývá dimorfizmus. Dimorfických je značný počet mikromycet patogenních pro živočichy [25].

1.2 Mikroskopické houby

Mikroskopické houby (mikromycety) jsou vícebuněčné, eukaryotní, pokročile heterotrofní, saprofytické nebo parazitické mikroorganizmy. Mezi mikroskopické houby patří kvasinky, kvasinkovité organizmy a plísně [13].

Mikromycety se vyznačují se tím, že nevytvářejí makroskopicky viditelné plodnice. Jejich myceliární vlákna prorůstají různé materiály. Velká morfologická rozmanitost a schopnost mikromycetů přizpůsobit se nejrůznějším ekologickým podmínkám umožňuje jejich výskyt tam, kde existuje organická hmota. Spory mikromycetů jsou jednobuněčné či vícebuněčné výtrusy sloužící k jejich rozmnožování a přežívání. Přítomny jsou v ovzduší,

půdě, vodě, na povrchu živých a odumřelých organizmů**,** v krmivech atd. Velmi vhodným substrátem pro osídlení, růst a rozmnožování toxinogenních mikromycetů jsou potraviny [6] [13].

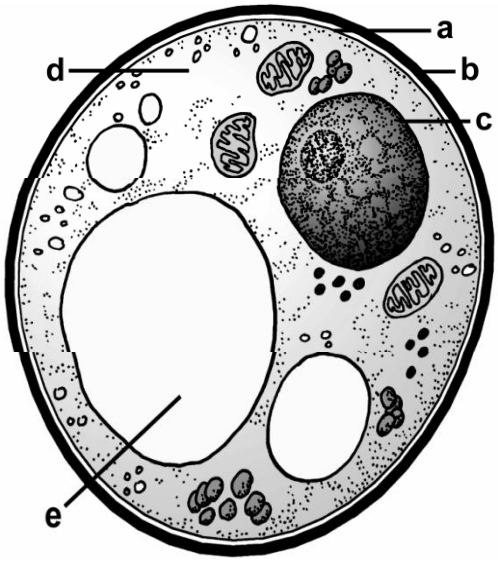
1.3 Makroskopické houby

Mezi makroskopické houby řadíme houby vyšší s plodnicí viditelnou pouhým okem. Plodnice, část stélky vyšších hub, je útvar, v němž se tvoří rozmnožovací částice (spory). Nejznámější jsou plodnice jedlých hub, které většinou vyrůstají z mycelia nad zemský povrch. U hub stopkovýtrusných se plodnice nejčastěji skládá z třeně a klobouku. Klobouk obsahuje výtrusorodé rouško a může mít rourky nebo plátky. Z pohledu anatomického je plodnice tvořena plektenchymem [13].

1.4 Stavba buňky hub

Houby jsou eukaryotické organizmy s typickou eukaryotickou buňkou. Mezi nejnápadnější útvary buňky hub můžeme zařadit jádro, vakuolu, cytoplazmu, cytoplazmatickou membránu a buněčnou stěnu (obr. 1) [18].

a) cytoplazmatická membrána
b) buněčná stěna
c) jádro
d) cytoplazma
e) vakuola



Obr. 1 Stavba buňky hub [20]

Cytoplazmatická membrána, je semipermeabilní struktura, která reguluje transport látek mezi prostředím a buňkou. Skládá se z jedné lipidové dvouvrstvy a v ní ukotvených bílkovin. Základní funkcí cytoplazmatické membrány je zajištění selektivního přesunu látek mezi buňkou a jejím okolím, kontakt, zprostředkovávání informací mezi buňkou a okolím [18].

Buněčná stěna, je pevná struktura, která vzniká na povrchu buněk bakterií, archeí, hub, rostlin a řas. Plní funkci ochrannou a vnější kostry buňky. Sestává ze dvou vrstev, přičemž pouze vnitřní vrstva obsahuje mikrofibrily uspořádané v matrix (fibrily z celulózy, chitinu) [18].

Jádro, v buňkách hub bývá relativně malé, 1-3µm. Struktura jádra ve středu obsahuje jadérko a na povrchu je obaleno jadernou blánou s jadernými póry, z níž vychází drsné endoplazmatické retikulum. Tak jako cytoplazma má svůj cytoskelet, obdobné struktury v jádře představují karyoskelet [18].

Cytoplazma, je tekuté prostředí buňky, v němž jsou uložené buněčné organely a další buněčné struktury [18].

Vakuola je struktura ohraničená membránou, která obsahuje vodu a v ní rozpuštěné látky. U hub má stejnou funkci jako u rostlinných buněk [18].

2 CHARAKTERISTIKA MYKOTOXINŮ A SEKUNDÁRNÍCH METABOLITŮ HUB

Plísním, produkujícím toxické metabolity, říkáme plísně toxinogenní. Do této skupiny patří také producenti antibiotik.

Mykotoxiny jsou sekundární toxické metabolity vláknitých mikromycet a makromycet, které patří mezi významné toxiny přírodního původu v potravinách. Přítomnost mykotoxinů v potravinách představuje celosvětový zdravotní problém. Oblasti mykotoxinů je věnována vysoká pozornost biochemiků, mykologů, mikrobiologů, toxikologů, fyziologů, potravinářských technologů i hygieniků [1].

Mykotoxiny jsou látky produkované většinou saprofytickými plísněmi toxické vůči člověku i dalším organismům. Některé mykotoxiny jsou prokázanými lidskými karcinogeny [1].

Rozvoj výzkumu v oblasti mykotoxinů nastal v roce 1960, kdy došlo v Anglii k záhadné chorobě "Turkey X disease", při kterém hromadně uhynulo přes 100 000 krůt a jiné drůbeže. Při této příležitosti byly objeveny dosud nejúčinnější mykotoxiny – aflatoxiny [1]. Z hlediska častého výskytu vlivu na zdraví lidí a zvířat zasluhují pozornost zejména aflatoxiny, ochratoxin A, zearalenon, trichotheceny, fumonisiny, moniliformin, patulin a další [4].

Mezi toxinogenní houby řadíme více jak 350 druhů hub, přičemž jedna plíseň může produkovat více toxinů nebo naopak jeden mykotoxin může být produkován několika mikroskopickými houbami. Počet mykotoxinů není přesně znám, neustále jsou objevovány a chemicky charakterizovány nové látky této skupiny. Lze odhadnout, že existuje asi 500 látek této skupiny. Jak již bylo zmíněno, většina mykotoxinů se řadí mezi sekundární metabolity [1] [2].

Sekundární metabolity jsou organické sloučeniny bez přímé role v hlavních metabolických drahách. Tvoří ochranu proti parazitům, predátorům a nemocem. Tvorba dané látky je zpravidla omezena na jeden druh či rod [4].

Do skupiny sekundárních metabolitů můžeme zahrnout:

- alkaloidy, obsahující bazický dusík (např. nikotin, kofein, atropin, strychnin),
- terpenoidy, odvozeny od 2-methyl-1,3-butadienu,

- glykosidy, odvozeny od jednoduchých cukrů,
- fenoly, aromatické alkoholy (např. kapsaicin),
- polyketidy, polymerace acetylových a propionilových jednotek (tetracyklin),
- mastné kyseliny,
- peptidy.

2.1 Rozdělení mykotoxinů a sekundárních metabolitů hub

Mykotoxiny lze je rozdělit podle různých kritérií. Mykotoxiny můžeme rozdělit podle toxického nebo patologického účinku. Protože jeden a týž mykotoxin může být produkován různými druhy i rody plísní, nelze je rozdělit podle produkčních plísní. Po stránce chemické jsou to látky strukturálně velmi odlišné, proto je lze jen těžko rozdělit podle jakéhokoliv schématu [1].

2.1.1 Rozdělení mykotoxinů podle chemické struktury

Z hlediska chemické struktury můžeme mykotoxiny zařadit mezi peptidy, laktony, furany, substituované chinony, pyreny, hydroxyperony apod. [1]. Rozdělení mykotoxinů na základě jejich chemické struktury ukazuje tabulka 1.

Tabulka 1 – Rozdělení mykotoxinů podle chemické struktury [1]

Chemická struktura	**Příklad mykotoxinu**
Cyklické dipeptidy	Brevianamidy, fumitremorgen, gliotoxin, roquefortin, sporidesminy, verukulogeny
Epoxytrichothecen	Deoxynivalenol, diacetoxyscirpenol, fusarenony, nivalenol, roridiny, satratoxiny, T-2 toxin, verukatiny
Furanofurany	Aflatoxiny, sterigmatocystin, versikolorin
Griseofulviny	Griseofulvin
Nenasycené laktony	Alternariol, citreoviridin, kyselina mykofenolová, kyselina penicilová, ochratoxiny, patulin, psoralen, rubratoxin B
Polycyklické substituované indolové deriváty	Kyselina cyklopiazonová, paspaliny, penitremy
Substituované chinony	Luteoskyrin, rubratoxin, viridikatumtoxin, xanthomegnin
Substituované pyreny a hydroxypyreny	Kyselina kojová, sekalonové kyseliny
Mykotoxiny s jinou chemickou strukturou	Citrinin, curvularin, kyselina ß- nitropropionová, moniliformin, PR-toxin, zearalenon

2.1.2 Dělení mykotoxinů podle způsobu biosyntézy

Jak již bylo zmíněno, mykotoxiny řadíme mezi sekundární metabolity, které mohou být syntetizovány z aminokyselin, polyketidů, isoprenoidů nebo z monilifominu [1]. Tabulka 2 ukazuje rozdělení mykotoxinů podle způsobu jejich biosyntézy v živých organizmech.

Tabulka 2- Dělení mykotoxinů podle způsobu biosyntézy [1]

Kategorie biosyntézy	**Příklad zástupce**
Biosyntéza moniliforminu	Moniliformin
Biosyntéza z polyketidů	Patulin, ochratoxin, emodin, kyselina sekalonová, aflatoxiny
Biosyntéza z isoprenoidů	Trichotheceny, roquefortiny.
Biosyntéza z aminokyselin	Kyselina cyklopiazonová, cyklické dipeptidy.

2.1.3 Dělení toxinů podle toxicity

Podle toxicity můžeme mykotoxiny dělit na základě kvalitativního nebo kvantitativního působení. Kvantitativní toxicita se zpravidla udává jako LD_{50} (letální dávka pro 50 % populace) a na základě toho můžeme mykotoxiny dělit na silně, středně nebo slabě toxické [11].

V případě silně toxických mykotoxinů se LD50 pohybuje řádově v jednotkách mg/kg tělesné hmotnosti. Mezi silně toxické mykotoxiny řadíme např. aflatoxiny, patulin, ochratoxin A, cyklochlorotin, zearalenon, T-2 toxin, citreoviridin, rubratoxiny, sporidesminy.

Toxicita u středně toxických mykotoxinů se pohybuje v rozmezí desítek mg/kg tělesné hmotnosti (vyjádřeno jako LD_{50}). Tato toxicita byla prokázána např. u citrininu, kyseliny penicillové, sterigmatocystinu nebo kyseliny cyklopiazonové.

Slabě toxické mykotoxiny mají LD_{50} okolo stovek mg/kg tělesné hmotnosti. Mezi slabě toxické mykotoxiny můžeme zařadit např. griseofulvin, kyselinu koji, trihothecin, kyselinu mykofenolovou nebo chaetomin [12].

2.1.4 Rozdělení mykotoxinů podle účinku na organizmus

Kvalitativně můžeme toxiny rozdělit podle toxicity na základě toho, ve kterých cílových orgánech mykotoxiny působí. Nejčastěji působí mykotoxiny na jaterní nebo ledvinovou tkáň, dále mohou působit na pokožku, sliznice trávicího systému, na imunitní systém, apod. Mnohé z mykotoxinů jsou schopny vyvolávat rakovinné bujení [11]. Rozdělení mykotoxinů podle místa působení ukazuje tabulka 3.

Tabulka 3 – Dělení mykotoxinů podle místa působení. [11]

Hepatotoxiny	aflatoxiny, sporidesminy, luteoskyrin, sterigmatocystin
Nefrotoxiny	ochratoxin A, citrinin
Dermatotoxiny	verrucariny, psoraleny, sporidesminy, trichotheceny
Genotoxiny	zearalenony
Imunotoxiny	aflatoxiny, ochratoxin A, trichotheceny
Toxiny zažívacího traktu	T-2 toxin
Neurotoxiny a myotoxiny	tremorgeny, citreoviridin

Dalším kritériem, podle kterého lze mykotoxiny rozdělit, je působení uvnitř buněk. Mykotoxiny mohou v buňkách inhibovat produkci energie, syntézu proteinů, mohou modifikovat cytoskelet. Karcinogenní mykotoxiny zasahují do regulace buněčných dějů podobně jako estrogenní mykotoxiny [12]. Rozdělení mykotoxinů podle účinků na buňku ukazuje tabulka 4.

Tabulka 4 – Rozdělení mykotoxinů podle účinku na buňku [12]

Inhibitory tvorby energie	citreoviridin, luteoskyrin, xanthomegnin, moniliformin
Inhibitory proteosyntézy	trichotheceny, ochratoxin A
Modifikátory cytoskeletu	griseofulvin, cytochalasiny, cyclochlorotin
Estrogenní mykotoxiny	zearalenon
Tremorgeny	penitremy (A, B, C), fumitremorginy (A a B)
Karcinogenní mykotoxiny	aflatoxin B1

3 VÝSKYT MYKOTOXINŮ V POTRAVINÁCH A V PROSTŘEDÍ

Potraviny rostlinného a živočišného původu jsou velmi dobrým substrátem pro růst toxinogenních vláknitých mikromycetů a pro produkci mykotoxinů. Obvykle jsou u produkovaných potravin koncentrace mykotoxinů vyšší v oblastech tropů a subtropů než v oblastech mírného pásma [1] [17].

V potravinách kontaminovaných mikroskopickými vláknitými houbami se může vyskytovat řada mykotoxinů. V následujícím textu je uveden přehled nejvýznamnějších toxinů, které mohou kontaminovat potraviny.

3.1 Mykotoxiny a jejich výskyt v prostředí

Spóry vláknitých mikromycetů jsou přítomny ve velkém množství v ovzduší, v půdě, ve vodě a na povrchu živých i odumřelých organizmů. Jsou schopny kontaminace jakéhokoli substrátu a to jim umožňuje osídlit řadu rozdílných biotopů [1]. Množství kolonie tvořících zárodků mikromycetů v ovzduší je různé. Normy EU jsou aeroskopicky do 1000 CFU/m³ v bytech.

Tvorba mykotoxinů v prostředí člověka je podmíněna celou řadou fyzikálních, biologických a chemických faktorů. Růst vláknitých mikromycetů závisí na faktorech, jako jsou vlhkost, teplota, složení substrátu, přítomnost kyslíku [2].

Za nepříznivé situace dochází ke kontaminaci pracovního a životního prostředí člověka spórami a následně osídlení prostředí, k růstu vláknitých mikromycetů a produkci mykotoxinů [2].

K významným faktorům, které mohou ovlivnit zdraví, patří toxinogenní a patogenní mikromycety a mykotoxiny. Toxikologický výzkum zdravotního rizika spojeného s mykotoxiny prokázal, že lidská populace je vystavena zejména mykotoxinům z potravin. Byly popsány i profesionální expozice u pracovníků mykotoxikologických laboratoří [2].

Potraviny znehodnocuje celá řada plísní, která se vyskytuje na potravinářských provozech, výrobcích, surovinách a krmivech. Znehodnocení se projevuje po stránce senzorické (změna vůně, chuti, konzistence a jiné). Plísně se nejčastěji vyskytují na potravinách a krmivech, jsou-li vytvářeny příznivé podmínky, jako jsou vhodná teplota, vlhkost apod. Plíseň pak potravinou prorůstá nebo porůstá její povrch. Porosty jsou nejprve bělavé,

vatové a později mění barvu do šedozelené až černé. Tyto vydávají charakteristický zápach. V případě kapalin roste plíseň na povrchu nebo pod hladinou [2].

Při porušení a nedodržování zásad bezpečnosti a ochrany při práci, např. v mykologických laboratořích, v balírnách tropických a subtropických potravin může dojít k profesionální expozici a ohrožení zdraví pracovníků [2].

Obecně platí, že zvýšený výskyt mykotoxinů v životním prostředí člověku škodí**.**

Mezi zdroje vláknitých mikromycetů můžeme zařadit [13]:

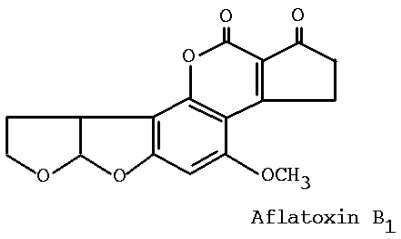
- zemědělská a průmyslová výroba, kde se manipuluje s organickým materiálem,
- použití zaplísněných surovin pro výrobu potravin,
- krmení zaplísněnými krmivy (kontaminace mléka, vnitřností a masa),
- čistírny odpadních vod,
- nedostatečně zabezpečené větrání, nevhodná klimatizace,
- nesprávná regulace vytápění,
- nadměrná vlhkost v budovách,
- nedodržování vhodných hygienických podmínek v domácnostech jako jsou provádění očisty chladničky, spíže a prostředí kuchyně, používání nevhodných dezinfekčních prostředků, nepravidelné odstraňování kuchyňských odpadků a plesnivé potraviny [13].

3.2 Mykotoxiny nejčastěji detekované v potravinách

Zástupci několika rodů toxinogenních mikromycetů mohou produkovat stejný mykotoxin, např. mykotoxin ochratoxin A mohou produkovat *Aspergillus ochraceus, A. melleus, A. fresenii*. Toxinogenní mikromycety mohou kontaminovat potraviny primárně, tj. při kontaminaci potravinových surovin v zemědělské prvovýrobě, a sekundárně, kdy kontaminují potraviny a pokrmy v domácnostech [1][2].

Aflatoxin B_1

Aflatoxin B_1 (AFB_1), jehož struktura je znázorněna na obrázku 2, bývá nejčastěji detekován v potravinách, jako jsou arašídová omáčka, arašídová pasta, arašídová směs, arašídy kandované, broskvová jádra, cereální snídaně, česnek nakládaný, česnekový prášek, chilli koření, chilli papričky, čokoláda, fíky, fíková pasta, kari, kávová zrna, kokosové ořechy, kokosový olej, kukuřičné výrobky, kukuřičný slad, kukuřičný škrob, mandle, marcipán, maso, můsli, nudle, muškátový oříšek, olej, ořechy, paprika, pepř, pekařské výrobky, pivo, proso, rozinky, ryby, sezamové semeno, sojová mouka, špagety, vaječné výrobky, víno, ječmen [3].



Obr. 2. Aflatoxin B_1 [12]

V uvedených potravinách byla koncentrace aflatoxinu B_1 stanovena řádově v jednotkách až stovkách μg/kg.

Aflatoxiny jsou produkovány kmeny *Aspergillus flavus* a *Aspergillus parasiticus*. Produkce aflatoxinů závisí na teplotě, vlhkosti, přístupu vzduchu, chemickém složení substrátu a struktuře [2].

Aflatoxin G_1

U aflatoxinu G_1 byl zjištěn stejný výskyt jako u AFB_1. Tento aflatoxin byl navíc ještě detekován v semenech celeru. V testovaných potravinách byla stanovena koncentrace aflatoxinu G_1 v rozmezí jednotek až desítek μg/kg potraviny [2].

Aflatoxin G_2

Aflatoxin G_2 byl v koncentracích řádově jednotek až desítek μg/kg detekován v potravinách, u nichž byl detekován i aflatoxin B_1. Navíc byla přítomnost tohoto mykoto-

xinu zjištěna i v citronech, skořici, mangu, olivovém oleji, pomerančích, slunečnicových a sezamových semenech, kurkumě, soji nebo římském kmínu [2].

Aflatoxin M_1

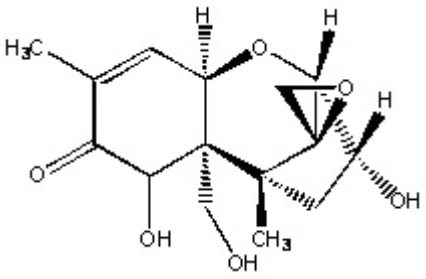
Tento aflatoxin byl řádově ve stejných jednotkách jako výše zmíněné aflatoxiny detekován např. v jogurtu, kukuřici, másle, mléce (pasterizovaném, sterilizovaném nebo sušeném), zaplísněných pistáciových ořeších, sušené syrovátce, sýrech (typu Camembert, Cheddar, Cottage, Eidam, Emmental, Gouda, Mozarella, Parmesan, Romadur, Samsoe) [2].

Alternáriové mykotoxiny

K významným alternáriovým mykotoxinům patří alternariol, alternariol monometyleter, altenuen, altertoxin I-II a kyselina tenuazonová. Alternáriové mykotoxiny patří k významným mykotoxinům a fytotoxinům. Jako rostlinné patogeny napadají a způsobují zánik mnoha zemědělských plodin. Alternáriové mykotoxiny byly detekovány zejména v potravinách a surovinách rostlinného původu, jako jsou např. rajčata a rajčatový protlak, rajčatová pasta, jablka, mandarinky, melouny, olivy, pekanové ořechy, pepř, ječmen, oves, žito, pšenice, čirok, slunečnicová semena. Stanovená koncentrace těchto mykotoxinů se pohybovaly v jednotkách až až stovkách μg/kg [13].

Deoxynivalenol (DON)

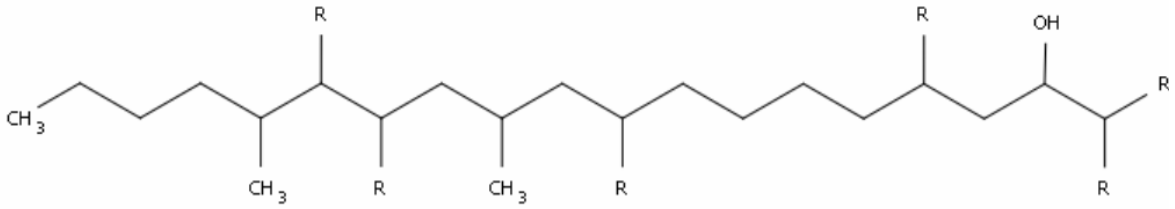
Deoxynivalenol (Obr. 3) je produkován plísní rodu *Fusarium*. Patří k nejznámějším a nejčastěji se vyskytujícím trichotecenům. Nacházejí se v objemných krmivech, především v kukuřici a zrninách. Deoxynivalenol byl detekován např. v obilovinách a výrobcích z nich, dětské výživě z obilovin, ječmeni a hotových výrobcích na bázi ječmene, různých druzích kukuřice, pšenice a výrobcích z nich, rýži, prosu, čiroku, otrubách, žitné mouce, chlebu, špagetách, můsli, nudlích, pivu, chilli prášku, zázvoru, sojových bobech, česneku, bramborách a to v množství setin až desítek mg/kg [13].



Obr. 3 deoxynivalenol [12]

Fumonisin B_1

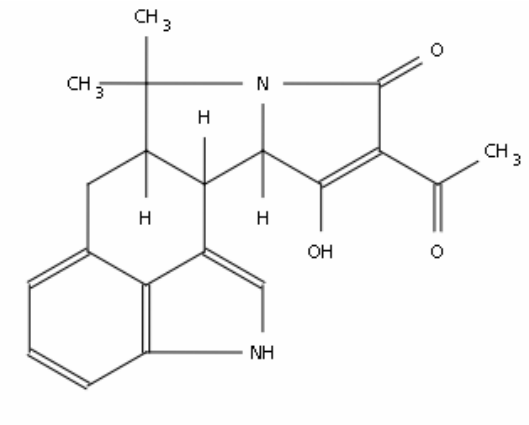
Převážně jde o skupinu látek fumonisin A_1, A_2, B_1-B_4, odvozených od nenasycených mastných kyselin (Obr. 4). Jsou produkovány některými druhy mikroskopických hub rodu *Fusarium.* Fumonisin B_1 byl v koncentracích jednotek až tisíců μg/kg detekován zejména v kukuřici a kukuřičných výrobcích nebo v polentě [13].



Obr. 4 Obecná struktura fumonisinů [12]

Kyselina cyklopiazonová

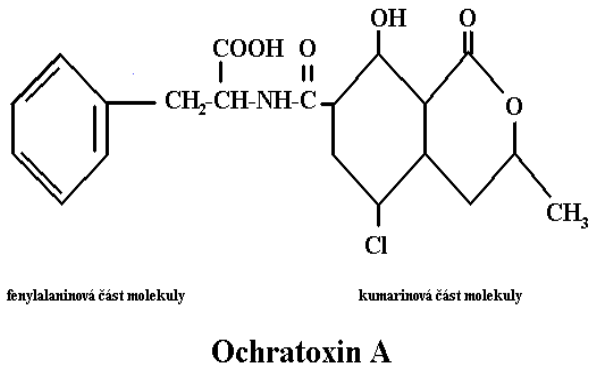
Kyselina cyklopiazonová je derivát indolu (Obr. 5), který byl poprvé objeven v roce 1968 Holzapfelem jako metabolit *Penicillium cyclopium* z podzemnice olejné. Je produkována větším množstvím druhů *Aspergillus* a *Penicillium.* Může se vyskytnout v kukuřici, arašídech, prosu, rajčatech a sýrech camembertského typu. Kromě těchto potravin bývá výskyt kyseliny cyklopiazonové zjištěn také v měkkých plísňových sýrech francouzského typu, sýrech gouda, čedar nebo v mléce ovcí (pouze experimentálně). Stanovené koncentrace tohoto mykotoxinu se pohybovaly řádově v jednotkách až stovkách μg/kg [13].



Obr. 5 Kyselina cyklopiazonová [12]

Ochratoxin A (OTA)

Ochratoxin A byl objeven v Jihoafrické republice při laboratorním vyšetření toxinogenních hub izolovaných ze zemědělských plodin. Ochratoxin A je produkován některými druhy rodů *Aspergillus* a *Penicillium* [13].

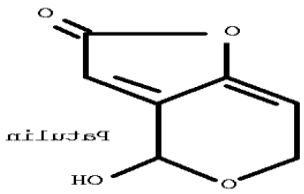


Obr. 6 ochratoxin A [12]

Ochratoxin A se vyskytuje v řadě komodit jak rostlinného, tak živočišného původu, jako jsou např. obiloviny a výrobky z nich, rozinky, káva, pivo, luštěniny, koření, zelený čaj, sušené ovoce, vepřové maso, krev a vnitřnosti. V těchto potravinách byl ochratoxin stanoven v koncentracích stovek ng/kg až desítek μg/kg [13].

Patulin

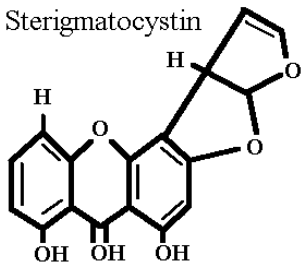
Patulin je nenasycený lakton (Obr. 7) obvykle izolovaný z jablek a jejich produktů, jako metabolit rodu *Penicillium expansum, Penicillium claviforme*, dále pak *Aspergillus clavatus, Aspergillus gigantem a Byssochlamys nivea*. Kromě jablek a výrobků z nich bývá patulin izolován z banánů, grepů, broskví, meruněk, ananasu, borůvek, plesnivých kompotů nebo hruškových džusů v koncentracích desítek až stovek μg/kg [13].



Obr. 7 patulin [12]

Sterigmatocystin

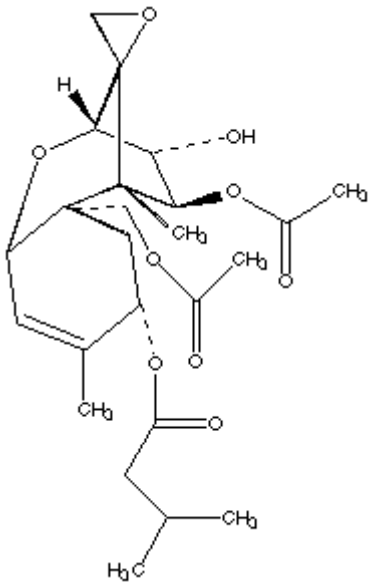
Sterigmatocystin (Ob.r 8) se vyskytuje jako reziduum kontaminovaných krmiv, ale také v obilovinách a výrobcích z nich (pšenice, ječmen, kukuřice, rýže), vnější vrstvě tvrdých sýrů, v sojových bobech, zelené kávě, marihuaně. Stanovené koncentrace se pohybovaly v rozmezí jednotek až stovek μg/kg Sterigmatocystin je produkován širším spektrem druhů *Aspergillus, Emericella, Chaetomium, Farrovia malayensis, Bipolaris nodulosa* a *Monocillium nordinii* [13].



Obr. 8 sterigmatocystin [12]

T-2 toxin

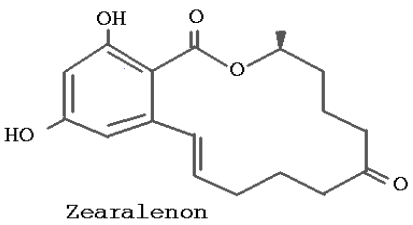
T-2 toxin je trichothecenový mykotoxin (Obr. 9), který je produkován plísní rodu *Fusarium.* T-2 toxin byl izolován z obilovin (ječmene, kukuřice, ovsa, žita, pšenice) a výrobků z nich, fazolí, koření nebo piva v koncentracích jednotek až stovek μg/kg [13].



Zearalenon (ZON)

Zearalenon je produkován některými plísněmi rodu *Fusarium.* Z hlediska chemické struktury se jedná o lakton (Obr. 10), podle biosyntézy ho řadíme mezi polyketidy. Zearalenon bývá izolován z obilovin a výrobky z nich, sladu, piva, chleba, ořechů, banánů, chilli, kari, fenyklu, pepře, oleje v koncentracích jednoetk až desítek μg/kg [13].

Prvním metabolitem zearalenonu izolovaným v roce 1988 byl zearalenon-4-β-D-glukopyranosid [1] [8].



Obr. 10 Zearalenon [12]

Příklady mikromycetů kontaminujících potraviny

Mykotoxiny v potravinách se mohou objevit tehdy, jestliže došlo ke kontaminaci potravin sporami toxinogenních plísní a pokud jsou splněny podmínky pro jejich růst či produkci toxinů (vhodná teplota, vlhkost, vodní aktivita potraviny, přístup kyslíku).

Porosty mají různou barvu podle druhu plísně: [13]

- Zelená hniloba - skladištní hniloba způsobená plísněmi rodu *Penicillium.*
- Černá hniloba - na povrchu plodů ovoce lze pozorovat bělavé polštářky mycelia s výtrusy. Soustřeďuje se především na hrušky.
- Šedá hniloba ovoce a zeleniny - způsobená povětšinou *Botrytis cinerea.* Zasažený substrát způsobuje kyselou chuť, hnědnutí dužiny.
- Hnědá hniloba ovoce - *Trichothecium rosem*, působí hořkou chuť dužiny napadeného ovoce.
- Hniloba cibule - způsobená rodem *Botrytis* a jinými druhy plísní, projevuje se zčerněním okrajů cibulových listů, rozbřednutím napadených míst provázené zápachem.
- Mokrá hniloba - způsobená plísní *Phytophtora infestans* se vyskytuje na uskladněných bramborách, na kterých vyváří šedé až hnědé a vmáčknuté skvrny. V suchém prostředí bývají hlízy brambor napadeny plísněmi rodu *Fusarium,* která působí tzv. suchou hnilobu, projevující se bublinatými ostrůvky s bílou škrobovitou hmotou [13].

3.3 Prevence výskytu mykotoxinů

V posledních letech se věnuje zdravotnímu stavu české populace stále větší pozornost. Především je to způsobeno popularizací nových postupů v medicíně a možnosti jejich realizace v praxi [1].

Na ochraně a podpoře veřejného zdraví před mykotoxiny v potravinových řetězcích a životním a pracovním prostředí člověka se podílejí: [1]

- Organizace kontrolního systému ČR, sledování zabezpečují v rámci své dozorové činnosti kontrolní organizace – Státní zemědělská a potravinářská inspekce, Státní veterinární správa, Hygienická služba MZ ČR.

- Systém HACCP; tento systém je možné uplatnit při výrobě potravin v celém potravinovém řetězci a zahrnuje nejdůležitější charakteristiky celého systému:
- analýzu nebezpečí, narušení zdravotní nezávadnosti určitého potravinářského výrobku nebo pokrmu,
- identifikaci kritických kontrolních a ochranných bodů v průběhu výroby, zpracování, skladování, přepravy, distribuce a zpracování potravin na pokrmy.

Systém prevence výskytu mykotoxinů v pracovním a životním prostředí je založen na vytváření vhodných podmínek, které minimalizují produkci mykotoxinů v pracovním a životním prostředí. Mezi takové podmínky můžeme např. zařadit: [1].

- plánovitý nákup potravin,
- nákup pouze jakostních potravin,
- nedotýkání se rukou nebalených potravin při jejich nákupu,
- uchovávání potravin v domácnostech dle doporučení výrobce a dle obecných hygienických zásad,
- dodržení správných skladovacích podmínek (chladná a suchá místa), pravidelná kontrola surovin, včetně kontroly teploty a vlhkosti,
- nepoužívání plesnivých surovin a potravin,
- vyloučení sekundární kontaminace,
- využívání vhodných konzervačních postupů,
- dodržování základních hygienických pravidel při manipulaci s potravinami v domácnosti,
- pravidelný úklid domácnosti.

3.4 Využití mikromycetů v potravinářství

Kulturní mykoflóra (mikromycety) se konzumuje cíleně (plísňové sýry, kvasinkami fermentované nápoje, asijské fermentované výrobky) bez dopadu na lidské zdraví. V Asii jsou mikromycety využívány k výrobě fermentovaných potravin několik tisíc let [13].

Výroba sýru rokfórského typu je známa od dob Římské říše. K výrobě se používá kulturní plíseň *Penicillium roqueforti*, která vyváří v těstě typický modrozelený porost. Sýry camembertského typu jsou známy od 18. století [1].

V asijských zemích při výrobě fermentovaných rostlinných produktů se uplatňují především zástupci rodů *Rhizopus, Mucor, Amylomyces, Actinomucor, Monascus, Aspergillus, Fusarium* [6].

4 ÚČINKY MYKOTOXINŮ NA LIDSKÝ ORGANIZMUS A MOŽNOSTI DETOXIKACE

Lidské zdraví mohou houbovité organizmy poškozovat různými mechanizmy: [1]

- přímé napadení člověka (mykóza),
- otravy jedovatými houbami,
- mykotoxikózy,
- alergie,
- nespecifická postižení zdraví.

4.1 Přímé napadení člověka houbovitými organizmy

Napadení lidského organizmu houbovitými organizmy vede k chorobám, které se souhrnně označují jako mykózy. K patogenům napadajícím člověka patří především původci kožních mykóz, dermatofyta, tj. mikromycety způsobující onemocnění postihující povrchy lidského těla. Tyto organizmy dlouhodobě přežívají v kůži a jejich derivátech (vlasy, chlupy, nehty). Řada hub (zejména kvasinek a mikromycet) patří mezi patogeny a napadají jedince s oslabenou imunitou. Z běžných nemocí má pro rozvoj plísňových infekcí význam především cukrovka [1].

Mezi velmi časté původce infekcí patří především pneumocysta (*Pneumocystis carinii*) vyvolávající těžké zápaly plic u novorozenců (především nedonošených), starých pacientů a pacientů s AIDS [26].

4.2 Mykotoxikózy

Mykotoxikóza je onemocnění způsobené toxiny hub, zejména mikroskopických hub. Příznaky mykotoxikóz mohou být všeobecné nebo specifické pro určité mykotoxiny, které působí jen na určité orgány a tkáně. Téměř všechny mykotoxiny poškozují játra, ledviny, negativně působí na imunitní systém a některé jsou karcinogenní. Rozhodujícími faktory pro celkový toxický účinek mykotoxinů jsou dávka a délka doby jejich působení [1] [2].

Na základě zjištěných výsledků je riziko akutního toxického účinku mykotoxinů minimální. Za významné se považuje riziko pozdních toxických účinků. Toxikologický výzkum nebyl zatím ukončen a nadále probíhá [1] [2].

Toxický vliv mykotoxinů nemusí být bezprostřední, ale může se projevit v pozdějším věku a ovlivnit tak zdravotní stav dospělé populace [1]. Obecně můžeme mykotoxikózy rozdělit na akutní a chronické.

Mezi nejstarší popsané mykotoxikózy patří ergotizmus, který vzniká jako otrava námele paličkovice nachové *Claviceps purpurea.* Mezi další mykotoxikózy, které byly popsány poměrně záhy, můžeme zařadit např. alimentární toxickou aleukii, známou ze Sibiře z počátku 20. století (přesněji z roku 1913) [6].

Mykotická onemocnění člověka

V dnešní době jsou časté případy, kdy saprofytický druh může způsobit různé typy mykóz u lidí se sníženou imunitou, nebo jiné vážné choroby, kdy je negativně ovlivněn imunitní systém.

Mykotoxiny mohou poškodit následující orgány a jejich fyziologické funkce [14]:

- centrální nervový systém (námelové alkaloidy, verruculogeny, trichotheceny),
- zažívací trakt (rozmanité příznaky, kterým pacient často nevěnuje pozornost),
- jater (aflatoxiny, které mohou při chronickém působení vyvolat cirhózu i nádory jater),
- imunitního systému (aflatoxiny, trichotheceny,citrininy),
- pohlavních orgánů (zearalenon a proti progesteronu působící trichotheceny patulin a rubratoxin, které vyvolávají mírné až těžké poruchy tvorby spermií u mužů a samců, hospodářských zvířat. Aflatoxiny, ochratoxin i jiné mohou ve velice nízkých koncentracích při dlouhodobém přísunu vyvolat otravy plodu a potrat) [14].

Riziko pozdních účinků mykotoxinů

Riziko akutního toxického účinku mykotoxinů v ČR je obvykle považováno za minimální. Za významné se považuje riziko pozdních toxických účinků (zejména imunotoxicita, karcinogenní riziko) po příjmu velmi nízkých nebo opakovaných mykotoxinů v potravinách. [14]

Řadíme zde účinky:

- mutagenní,
- karcinogenní,
- imunosupresivní,
- embryotoxické (teratogenní).

4.2.1 Otravy jedovatými houbami

Mezi otravy jedovatými houbami se zpravidla řadí intoxikace způsobené jedy vyšších hub (houbové jedy). Většinou se jedná o poruchy organizmu způsobené jedy plodnic jedovatých hub anebo jedy hub jedlých, u kterých však vznikly jedy rozkladnými ději. Toxiny makromycetů se většinou dělí podle účinků a chemického složení. Houby mohou způsobovat několik druhů otrav [14]:

- hepatonefrotoxický syndrom - toxiny ucháče obecného, toxiny muchomůrky zelené,
- nefrotoxický syndrom - toxiny pavučince plyšového,
- syndromy trávicí trubice - otrava závojenkou olovovou, toxiny jedovatých hřibů, toxiny holubinek a ryzců, toxiny kuřátek,
- syndrom antabusový - toxiny hnojníku inkoustového,
- halucinogenní syndrom - halucinogenní houby,
- muskarinový syndrom - otrava vláknicí načervenalou,
- pseudootravy - zdravotní potíže po požití hub.

4.2.2 Příklady nejčastějších mykotoxikóz

Ergotizmus

Ergotizmus patří mezi historicky první zjištěné mykotoxikózy u člověka. Ergotizmus je zpravidla spojen s použitím potravin z obilnin a rýže kontaminovanými tvrdými černými nebo temně fialovými sklerocii – námelem – polní mikroskopické houby rodu *Claviceps*. Epidemie ergotizmu spojené s konzumací žita kontaminovaného *Claviceps purpurea* byly prokázány zejména v severní a střední Evropě [1][6].

Ergotizmus se může vyvíjet ve dvou klinických formách, a to jako gangrenózní a konvulzivní ergotizmus. Konvulzivní ergotizmus má tyto symptomy: mírné závratě, únava, deprese, bolesti v končetinách. První příznaky gangrenózního ergotizmu se projevují edémem končetin a končí gangrénou [1].

Ochratoxikóza

Ze skupiny ochratoxinů je ochratoxin A nejdůležitější a nejtoxičtější. Ochratoxiny B a C jsou méně toxické. Ochratoxikóza je celosvětově se vyskytující mykotoxikózou, popsanou u lidí i zvířat, způsobenou příjmem ochratoxinu A v potravinách a krmivu. Hlavním zdrojem ochratoxinu A je obilí a dále masné výrobky. Významným zdrojem může být i káva [1].

Vedle rostlinných produktů lze ochratoxin nalézt v orgánech hospodářských zvířat, ve kterých byly prokázány stopové koncentrace ochratoxinu. Nejzávažnějším zaznamenaným biologickým účinkem u zvířat exponovaných ochratoxinem je nefrotoxicita, genotoxicita a karcinogenita [10].

Četnost výskytu ochratoxikózy závisí na různých faktorech, jako jsou roční doba, klima, geografické zóny. Její výskyt byl popsán v celé řadě zemí, např. v Kanadě, Dánsku, Irsku, Norsku, Švédsku, USA, ale také v bývalé Jugoslávii, Bulharsku a v severní Africe. Symptomy mykotoxikózy způsobené ochratoxinem A jsou útlum imunity a postižení ledvin [1] [7].

Alimentární toxická aleukie (ATA)

Onemocnění se vyskytovalo ve východní Sibiři, na Ukrajině, Balkánu a na jihu Ruska, u lidí konzumujících často proso a ječmen kontaminované houbami rodu *Fusarium*. ATA se projevovala zánětem dutiny ústní, jícnu a akutní gastroenteritidou [1] [7].

Intoxikace citrininem

Citrinin byl poprvé objeven na počátku 30. let 20. století, kdy byl nejprve charakterizován jako antibiotikum, teprve později mu byla prokázána jeho silná nefrotoxicita a interference s metabolickými procesy v játrech [1][9]. Produkován je druhy rodu *Aspergillus* a *Penicillium*. Může se vyskytovat společně s ochratoxinem. V našich podmínkách je kontaminantou obilí [1].

Intoxikace zearalenonem

Je produkován některými plísněmi rodu *Fusarium*. Zearalenon může u lidí i hospodářských zvířat způsobovat hyperestrogenismus.

4.2.3 Pulmonální mykotoxikóza

K pulmonální mykotoxikóze dochází při vysoké expozici prachu s obsahem spor plísní, fragmentů mycelia apod. Velmi často se jedná o profesionální expozici pracovníků, kteří manipulují s různými potravinářskými a krmivářskými surovinami a polotovary. Zvýšené riziko vzniká při práci v uzavřených prostorách. V mimoprofesionální sféře jsou ohroženi obyvatelé domů s klimatizací, kdy v důsledku jejího delšího vypnutí může dojít k pomnožení plísní a po opětovném zapnutí rozpráší do klimatizovaných prostor.

Pulmonální mykotoxikóza se projevuje prudkým záchvatem kašle, dušnosti, horečkou a třesavkou, svalovými bolestmi, narušením srdečního rytmu a dalšími zdravotními problémy. Při včasném zjištění nemoci nemusí být následky žádné. Při nezjištění problému může vzniknout plicní karcinom až smrt [27].

4.3 Alergie

Mikromycety ohrožují zdraví člověka nejen svými toxiny, ale mohou vyvolávat také mykoalergie, produkcí svých spór, které jsou spolu s fragmenty mycelia významnou součástí prachu. Alergeny však nemusí být jen částečky mycelia a spóry, ale i některé chemické látky, které houby vytvářejí. Citliví jedinci jsou spórami alergizováni při vdechování. Dochází k podráždění dýchacích cest, kašli, chrapotu, ke vzniku bronchitidy a dále ke zhoršování respiračních onemocnění [1] [6]. Většina mykoalergenů je po chemické stránce tvořena proteiny, glykoproteiny, popř. polysacharidy [6].

Doposud bylo popsáno více než 80 rodů hub, které mohou vyvolávat alergické reakce u lidí. K nejvýznamnějším alergenním mikroskopickým houbám patří zástupci rodů *Cladosporium, Alternaria, Aspergillus, Fusarium, Penicillium, Epicoccum, Helminthosporium*, dále některé kvasinky a zygomycety jako jsou *Mucor* nebo *Rhizopus* [6].

Alergická onemocnění vyvolávaná houbami se dělí do čtyř hlavních skupin [6]:

- Alergická rhinitis a astma postihují atopické jedince s dědičnou predipozici. Astma je vyvoláno spórami hub, zvláště rodu *Cladosporium, Aspergillus* nebo *Penicillium.*
- Chronická bronchitida, která bývá velmi často diagnostikována u jedinců z řad farmářů, pracujících převážně s dobytkem a obilím. Nelze vyloučit podíl endotoxinů gramnegativních bakterií na tomto syndromu.
- Extrinzní alergická alveolitida je hypersenzitivní onemocnění. Tento typ imunitní poruchy představuje nemoc z povolání. Hlavní příčinou tohoto onemocnění jsou prachové částice, sérové proteiny zvířat a ptáků.
- Syndrom toxického prachu organického původu, v případě bytového prachu jsou nejzávažnějšími alergeny a jejich inhalace může způsobit toxickou alveolitidu, která se vyvíjí 12 hodin po expozici. Dle statistik alergologů mohou pyly, roztoči, spory mikromycetů a jejich mykotoxiny způsobit zdravotní problémy. Klinické příznaky jsou podobné chřipce, pokud jsou vdechovány nadměrným množstvím spor hub v ovzduší a vstřebávány přes kůži nebo požití.

Působení mikromycetů na člověka může být dáno nejen vhodnými podmínkami, které mají mikromycety pro svůj růst, rozmnožování a produkci mykotoxinů, ale především jejich přizpůsobivostí. Působení plísní na člověka může být následující [6]:

- Mykoalergické - alergie na plísně je častá převážně u dětí. Mezi atopiky je 20 – 30 % alergických na plísně. Asi 6 % populace trpí respirační alergií na plísně.
- Mykotoxické - je známo 63 druhů toxinogenních mikromycet s produkcí přes 300 mykotoxinů.
- Destrukční - alergická bronchopulmonální aspergilóza, mykotická sinusitis.
- Etiopatogenetické - alergická bronchopulmonální aspergilóza, hyperenzitivní pneumonitis.
- Mykoinfekční - u pacientů s imunodeficiencemi způsobující invazivní mykózu.

4.4 Metody hodnocení expozice mykotoxiny

Člověk je exponován mykotoxiny zejména z potravin. Na základě toxikologických údajů, spotřeby potravin a stanovení výskytu mykotoxinů ve sledovaných potravinách se provádí hodnocení dietární expozice i hodnocení rizika pro populaci i jednotlivce. Dietární expozice mykotoxiny a následně zdravotního rizika pro populaci v ČR lze provádět dvojím způsobem [2]:

a) Odhadem dietární expozice (expozici potravinami) na základě stanovení mykotoxinů v potravinách a spotřeby uvedených potravin. Stanovený odhad denní konzumace je porovnán s expozičním standardem a výsledek se vyjádří jako procento čerpání expozičního standardu.

b) Stanovením příslušného mykotoxinu, popřípadě jeho metabolitu v tělních tekutinách a tkáních člověka (v krvi, plazmě, moči, krevním séru). Odhad se stanoví na základě znalostí o změnách v metabolizmu, šíření a vylučování mykotoxinů a jejich biomarkerů v organizmu [2] [6].

4.5 Detoxikace mykotoxinů

Mykotoxiny se vyznačují značnou odolností vůči vlivům na prostředí. Detoxikace se provádí především u aflatoxinů. Nejčastěji se používá promývání substrátů a to kapalným čpavkem. Laboratorní sklo se dekontaminuje lázní s louhem a chlornanem sodným.

Mykotoxiny jen v některých případech nepřecházejí do konečného výrobku a kontaminované šarže potraviny je potřeba právě pro takové výrobky určit. V minulých letech se velice často používalo ředění kontaminované potraviny za nezávadnou, aby koncentrace mykotoxinů klesla pod stanovený limit [1].

Dekontaminace potravin v domácnostech je spíše neproveditelná, jelikož cena analytického zkoušení mnohonásobně přesahuje cenu zplesnivělé potraviny. Proto se doporučuje napadenou potravinu zlikvidovat. Mykotoxiny substrátem (chléb, marmelády, džem, kompoty, apod.) rychle difundují a v některých substrátech může být v hloubce makroskopicky neviditelné mycelium, které může produkovat mykotoxiny. Aby nedošlo k následné konzumaci napadených potravin lidmi, doporučuje se je znehodnotit [13].

5 ZÁVĚR

Předložená bakalářská práce shrnuje základní charakteristiky a rozdělení významných mykotoxinů a sekundárních metabolitů, jejich výskyt v potravinách i v prostředí a účinky mykotoxinů na lidský organizmus a možnosti detoxikace.

V současné době je mykotoxinům věnovaná velká pozornost, a to pro jejich toxicitu vůči člověku i zvířatům. Některé z nich mohou u lidí vyvolat i rakovinné bujení. Problémem je také kontrola při vstupu mykotoxinů do potravinového řetězce. V dnešní době existují limity pro mykotoxiny vyskytující se v potravinách.

V potravinách se mohou mykotoxiny objevit tehdy, pokud došlo ke kontaminaci potravin sporami toxinogenních plísní, pokud jsou vhodné podmínky pro jejich růst, kterými jsou teplota, vlhkost, přístup kyslíku, vodní aktivita potraviny atd.

Plíseň, která napadá potraviny, mykotoxiny produkovat může, ale také nemusí. Toxiny pouhým okem nelze rozeznat, ale lze je prokázat velmi specializovanou analýzou. Proto je vhodné přistupovat ke každé plesnivé potravině tak, jako by toxiny skutečně obsahovala. Plesnivé potraviny nelze použít ani ke zkrmování domácích zvířat, jelikož mohou přejít do masa či mléka.

Zdravotní nezávadnost potravin zajišťují dozorové orgány během jejich výroby a uvádění do oběhu. Kontrolu potravin, které nakupujeme v obchodní síti, provádí příslušné kontrolní orgány a v případě, že se prokáže vyšší koncentrace mykotoxinů, jsou takové potraviny stahovány z oběhu.

Vedle celé řady negativních vlastností a účinků, mají některé mikroskopické houby také vlastnosti a účinky pozitivní. Při výrobě některých salámů a sýrů se používají speciálně vyšlechtěné kultury plísní, které výrobkům dodávají charakteristický vzhled, chuť a vůni.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] BŘEZINA, P., ŠIMŮNEK, J. Mykotoxiny. Vyškov: VVŠPV, 1996.

[2] MALÍŘ, F., OSTRÝ, V. Vláknité mikromycety (plísně), mykotoxiny a zdraví člověka. Brno: NCO NZO, 2003.

[3] VELÍŠEK, J., Chemie potravin 3, Tábor, OSSIS 2002, ISBN 80-86659-02-X, 368 stran

[4] ZÖLLNER, P., MAYER-HELM, B.: Trace mykotoxin analysis in complex biological and food matrices by liquid chromatogramy-atmospheric pressure ionisation mass spektrometry, *Journall of Chromatography A,* 2006, vol. 1136, no 2, pp. 123-169

[5] DIJKSTERHUIS, J., SAMSON, R. A. Food Mycology: A Multifaceted Approach to Fungi and Food. Boca Raton: CRC Press, 2007.

[6] VLADIMÍR OSTRÝ, Mikroskopické vláknité houby. *Vesmír,* 2000 vol. 79, p. 187.

[7] Mykotoxiny. [online]. [cit. 15. 1. 2010]. Dostupné na:

<http://www.phytosanitary.org/?link=cs/projekty/2009/>

[8] ENGELHARDT, et al. Metabolism of mycotoxins in plants. *Advances in food science,* 1999, 21 (3-4), 71-78.

[9] WIEDENBORNER M.: Encyclopedia of Food Mycotoxins, Springer-Verlag, 2001.

[10] PESTKA JAMES J. Deoxynivalenol: Toxicity, mechanisms and snímal health risks, *Animal Feed Science and Technology*, 2007, *137,* 283-298

[11] POLSTER, M., *Nižší houby v poživatinách* in Hrubý, S., a kol, Mikrobiologie v hygieně výživy, Avicenum Praha, 1984, str. 21-42

[12] UENO, Y.: Toxicology of mycotoxins. CRC Crit. Rev. Toxicol., 14 (2) 1985, 99-132

[13] ŠIMŮNEK, J.: Biologické metody stanovení zdravotního rizika mykotoxinů v poživatinách. Kandidátská disertační práce, LFH UK, Praha, 1985 [obhajoba 1987], 96 str.

[14] www.lf3.cuni.cz

[15] BARTŮŇKOVÁ JIŘINA, Potravinové alergie. *Vesmír*, 1998, vol. 77, p. 612.

[16] http://www.vupp.cz/czvupp/aktualit/foodtoday/ftoday51.htm

[17] RUPRICH JIŘÍ A KOLEKTIV. Zdravotní důsledky zátěže lidského organismu cizorodými látkami z potravinových řetězců v letech 1999-2007 (2008)

[18] KLÁN, J.: Co víme o houbách, SPN Praha, 1989, 310 str.

[19] MICHAEL J. Cartlile & Sarah C. Walkinson [eds.] (1994): The Fungi – Academic Press, London

[20] http://www.planina.cz/priro/prehledy/prehled_b06_houby.pdf

[21] http://botany.upol.cz/atlasy/system/protista.php

[22] LEDERBERG, J., Bloom, B. R., Encyclopedia of mikrobiology, San Diego: Academic Press, 2000, ISBN 0-12-226804-0, 1142 str.

[23] BETINA, V., Mykotoxiny – chémia – biológia – ekológia, Alfa Bratislava, 1990, ISBN 80-05-00631-4, 285 stran

[24] VÁŇA, J., Systém a vývoj hub a houbových organismů, 2.vyd., Karolinum Praha, 1998, ISBN 80-7184-603-1, 164 str.

[25] KLABAN, V., Svět mikrobů: ilustrovaný lexikon mikrobiologie životního prostředí, Hradec Králové: Gaudeamus, 2001, ISBN 80-7041-4, 416 str.

[26] BURIANOVÁ, B.: Epidemiologie, 1. vyd. Praha: Avicenum, 1981. 298 str.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Stavba buňky

Obr. 2 Aflatoxin B1

Obr. 3 Deoxynivalenol (DON)

Obr. 4 Fumonisin B2

Obr. 5 Kyselina cyklopiazonová

Obr. 6 Ochratoxin A (OTA)

Obr. 7 Patulin (PAT)

Obr. 8 Sterigmatocystin

Obr. 9 T-2 toxin

Obr. 10 Zearalenon (ZON)

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Chemické dělení mykotoxinů

Tab. 2 Dělení mykotoxinů podle biosyntézy

Tab. 3 Dělení mykotoxinů podle toxicity-kvalitativní

Tab. 4 Rozdělení podle účinku na buňku