

UNIVERZITA PARDUBICE  
FAKULTA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2021

Kristýna Zeithammerová

Univerzita Pardubice  
Fakulta chemicko-technologická

Biotransformace mykotoxinů  
Bakalářská práce

2021

Kristýna Zeithammerová

University of Pardubice  
Faculty of Chemical Technology

Biotransformation of mycotoxins  
Bachelor thesis

2021

Kristýna Zeithammerová

Univerzita Pardubice  
Fakulta chemicko-technologická  
Akademický rok: 2020/2021

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Kristýna Zeithammerová**  
Osobní číslo: **C18304**  
Studijní program: **B3912 Speciální chemicko-biologické obory**  
Studijní obor: **Zdravotní laborant**  
Téma práce: **Biotransformace mykotoxinů**  
Zadávající katedra: **Katedra biologických a biochemických věd**

### Zásady pro vypracování

Zpracujte literární rešerši na dané téma bakalářské práce. V rešerši se zaměřte na:

1. Popis funkce mykotoxinů na lidský organismus.
2. Možnosti biotransformace pomocí různých enzymů.
3. Možnosti biotransformace pomocí mikroorganismů.
4. Bakalářskou práci zpracujte v souladu se Směrnicí UPa č. 7/2019: Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací.

Rozsah pracovní zprávy: **25 s.**  
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Iveta Brožková, Ph.D.**  
Katedra biologických a biochemických věd

Datum zadání bakalářské práce: **18. prosince 2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **2. července 2021**

L.S.

---

**prof. Ing. Petr Kalenda, CSc.**  
děkan

---

**prof. Mgr. Roman Kandár, Ph.D.**  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 26. února 2021

Prohlašuji:

Práci s názvem „**Biotransformace mykotoxinů**“ jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 16. 7. 2021

Kristýna Zeithammerová v.r.

## **PODĚKOVÁNÍ**

Ráda bych poděkovala své vedoucí bakalářské práce Ing. Ivetě Brožkové, Ph.D. za odborné vedení a poskytnutí cenných odborných rad při zpracování bakalářské práce.

Také bych ráda poděkovala své rodině, která mi byla oporou a podporovala mě při studiu na vysoké škole.

## **ANOTACE**

Bakalářská práce se zabývá popisem a způsobem biotransformace nejčastěji se vyskytujících mykotoxinů. V práci je zahrnut popis jednotlivých mykotoxinů, jejich výskyt v přírodě, onemocnění, které jsou schopné vyvolat. V další části je uveden způsob jejich degradace ze surovin určených k dalšímu zpracování a to fyzikální a chemickou cestou a biotransformace pomocí enzymů či adsorpce za využití mikroorganismů.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

mykotoxiny, biotransformace, mikroorganismy

## **TITTLE**

Biotransformation of mycotoxins

## **ANNOTATION**

The bachelor's thesis deals with the description and method of biotransformation of the most common mycotoxins. The work includes a description of individual mycotoxins, their occurrence in nature, diseases that they are able to cause. The next part of the work discusses the method of their degradation from raw materials intended for further processing by physical and chemical means and biotransformation by enzymes or adsorption using microorganisms.

## **KEYWORDS**

mycotoxins, biotransformation, microorganisms



# OBSAH

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK .....	11
SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK .....	12
ÚVOD.....	13
1 Stručná charakteristika mykotoxinů .....	14
2 Nejběžnější mykotoxiny .....	15
2.1 Aflatoxiny .....	15
2.2 Ochratoxiny.....	16
2.3 Patulin .....	17
2.4 Fusariové mykotoxiny.....	18
2.4.1 Zearalenon.....	19
2.4.2 Trichotheceny.....	19
2.4.2.1 T-2 toxin.....	20
2.4.2.2 Deoxynivalenol .....	20
2.4.3 Fumonisiný.....	21
3 Prevence vzniku mykotoxinů .....	23
4 Fyzikální a chemické metody degradace mykotoxinů.....	25
4.1 Fyzikální metody degradace .....	25
4.1.1 Fyzikální adsorpce mykotoxinů .....	25
4.2 Chemické metody degradace .....	26
5 Biotransformace mykotoxinů .....	27
5.1 Biotransformace pomocí adsorpce přes stěnu mikroorganismů .....	27
5.1.1 Adsorpce aflatoxinů .....	28
5.1.2 Adsorpce Ochratoxinu A.....	29
5.1.3 Adsorpce fumonisinů .....	30
5.1.4 Adsorpce zearalenonu .....	30
5.1.5 Adsorpce trichothecenových mykotoxinů.....	31

5.2	Biotransformace mykotoxinů enzymaticky .....	31
5.2.6	Enzymatická degradace aflatoxinů.....	32
5.2.7	Enzymatická degradace ochratoxinu A.....	33
5.2.8	Enzymatická degradace fumonisinů.....	34
5.2.9	Enzymatická degradace zearalenonu.....	34
5.2.10	Enzymatická degradace trichothecenových mykotoxinů .....	35
6	Závěr.....	37
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	38

## SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Tabulka 1: Maximální limity vybraných potravin pro obsah aflatoxinů dle nařízení Komise (ES) č. 1881/2006.....	16
Tabulka 2: Maximální limity vybraných potravin pro obsah ochratoxinu A dle nařízení Komise (ES) č. 1881/2006 .....	17
Tabulka 3: Maximální limity vybraných potravin pro obsah patulinu dle nařízení Komise (ES) č. 1881/2006.....	18
Tabulka 4: Maximální limity vybraných potravin pro obsah zearalenonu dle nařízení Komise (ES) č. 1881/2006 .....	19
Tabulka 5: Maximální limity vybraných potravin pro obsah deoxinivalenolu dle nařízení Komise (ES) č. 1881/2006.....	21
Tabulka 6: Maximální limity vybraných potravin pro obsah fumonisinů dle nařízení Komise (ES) č. 1881/2006 .....	22
Obrázek 1: Schéma mechanismů podílející se na degradaci mykotoxinů pomocí bakterií mléčného kvašení.....	28

## SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

AFB1	—	aflatoxin B1
AFB2	—	aflatoxin B2
AFG1	—	aflatoxin G1
AFG2	—	aflatoxin G2
AFD1	—	aflatoxin D1
AFD2	—	aflatoxin D2
AFD3	—	aflatoxin D3
AFM1	—	aflatoxin M1
AP1	—	apinopentol
ATA	—	alimentární toxická leukémie
BMK	—	bakterie mléčného kvašení
CPA	—	karboxypeptidáza A
DON	—	deoxinivalenol
DONS	—	deoxinivalenol-sulfonát
ELEM	—	leukoencefalomalacie
FB1	—	fumonisin B1
FUM	—	fumonisiny
<i>L. plantarum</i>	—	<i>Lactobacillus plantarum</i>
MRS	—	Man, Rogosa Sharperův agar, médium určené k růstu laktobacilů
OTA	—	ochratoxin A
PAT	—	patulin
PBS	—	roztok fosfátového pufru
SSSR	—	Svaz sovětských socialistických republik
USA	—	Spojené státy americké (United States)
UV	—	ultrafialové

ZON

—

zearalenon

## ÚVOD

Onemocnění, která mohou mykotoxiny vyvolat, představují vysoké riziko pro zvířata i lidi. V hospodářském průmyslu může přítomnost mykotoxinů způsobit vysoké ekonomické ztráty, a proto je třeba rozvíjet způsoby umožňující odstranění mykotoxinů z krmiva, či znemožnit jeho toxickému působení na organismus zvířat a lidí.

V této práci jsou popisovány jednotlivé mykotoxiny, jejich vliv na zdraví hospodářských zvířat a jak vysoké potenciální riziko představují pro zdraví lidí.

V další části se věnuji metodám schopným odbourávat mykotoxiny. V dnešní době jsou využívány metody fyzikální a chemické, ty však dokáží v řadě případů znehodnotit nutriční hodnoty surovin, dále pak způsobují senzorické změny surovin. Slibnou metodou odbourávání mykotoxinů je využití mikroorganismů jako adsorbentů, či odbourávání pomocí enzymů. Tyto metody představují nižší zátěž pro životní prostředí a snadný způsob kultivace mikroorganismů.

# 1 Stručná charakteristika mykotoxinů

Mykotoxiny jsou strukturně rozmanité, přirozeně se vyskytující látky, produkované jako sekundární metabolity plísní a považují se za látky schopné způsobit onemocnění zvané mykotoxikózy. Tato onemocnění mohou způsobovat akutní i chronické poškození zdraví u lidí i zvířat. Jedná se o látky nízkomolekulární a nebílkovinné povahy, většina z těchto látek vykazuje stabilitu při vyšších teplotách.

Na organismus člověka mají relativně nižší akutní toxicitu, důležitější je však toxicita chronická, která se může projevovat teratogenitou, karcinogenitou a imunosupresivní aktivitou (Hrdina, 2004).

Mezi nejznámější producenty mykotoxinů se řadí rody *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* a jejich sekundární metabolity zvané aflatoxiny, ochratoxiny, patulin, fusariové mykotoxiny. V současnosti je známo přes 500 druhů mykotoxinů a jsou objeveny další (Kalhotka, 2014). Nejčastěji detekovaným mykotoxinem v krmivech na území Evropské unie je aflatoxin B1 z rodu *Aspergillus*. Průměrně se ve zkoumaných vzorcích nachází až z 95 %. Mezi další často detekované mykotoxiny řadíme deoxynivalenol a zearalenon. Mezi méně detekované řadíme fumonisiny a ochratoxin A (Chlebicz a Śliżewska, 2020).

Mykotoxiny můžeme nalézat v potravinách rostlinného původu, jako jsou ořechy, zrna a ovoce, tak i v potravinách živočišného původu jako je mléko, mléčné výrobky, vejce a maso. Do živočišných výrobků se mykotoxiny dostávají přes organismus hospodářských zvířat z důvodu zkonsumování napadeného krmiva mykotoxiny. K rozvoji mykotoxinů v zrnech dochází buď na poli v době růstu a to hlavně u rodu *Fusarium*, nebo v době po sklizni během špatného skladování zrn, kdy k jejich rozvoji příznivě působí vlhké prostředí a vyšší teploty (Malíř *et al.*, 2003).

## 2 Nejběžnější mykotoxiny

### 2.1 Aflatoxiny

Jedná se o první objevené mykotoxiny, jejichž zkoumání započalo v roce 1960, kdy v Anglii vypukla epidemie zvaná jako „onemocnění X“. Ta zapříčinila uhynutí krutích mláďat v řádech desetitisíců (Malíř *et al.*, 2003). Onemocnění se u zvířat projevovalo anorexií, letargií a ochabnutím křídel. Při zkoumání znečištěného krmiva, v tomto případě arašídové moučky, nebylo možné identifikovat bakteriálního ani virového původce, a proto bylo onemocnění identifikováno jako intoxikace (Patočka, 2004). Následně došlo k izolaci neznámé látky s modrou fluorescencí v UV světle, a tím byl objasněn původce této látky, *Aspergillus flavus*. Jeho metabolity dostaly název aflatoxiny (Malíř *et al.*, 2003).

Aflatoxiny jsou syntetizovány především kmeny *Aspergillus flavus* a *Aspergillus parasiticus*, které se běžně vyskytují v půdě a různých organických materiálech. Mezi nejčastěji se vyskytující formy aflatoxinů řadíme alfatoxin B1 (AFB1), aflatoxin B2 (AFB2), aflatoxin G1 (AFG1), aflatoxin G2 (AFG2). Dalšími deriváty jsou aflatoxiny M1 a M2, které jsou deriváty AFB1 a AFB2 a můžeme je nacházet v mléce, mléčných výrobcích a masu (Ashiq, 2014). AFM1 můžeme také nacházet v mléčných výrobcích jako je sýr ve vyšších koncentracích než v mléce, jelikož je tepelně stabilní. Váže se na mléčné bílkoviny a jeho koncentrace není ovlivněna procesem výroby sýrů (Barbiroli *et al.*, 2007).

AFB1 je považován za nejtoxičtější z aflatoxinů. Toxické účinky alfatoxinů závisí na jejich biotransformaci v organismu, jelikož samy o sobě nevykazují toxicitu. Biotransformací dochází ke vzniku tzv. epoxidů. Tyto epoxidy se pojí s buněčnými makromolekulami, RNA a DNA. Při vazbě s DNA dochází k degradaci buněčné informace a toxickému účinku na organismus. U jater dochází k poškození hepatocytů, často končící jejich nekrózou a bujením jaterních žlučovodů. Dále byly prokázány účinky na imunitu, kdy se organismy stávají citlivější pro některé infekce (Kalhotka, 2014). Aflatoxiny jsou od roku 2012 dle výzkumu pracovní skupiny pro Mezinárodní agenturu pro výzkum rakoviny klasifikovány do skupiny 1, což znamená, že jsou karcinogenní pro člověka (Ostrý *et al.*, 2017).

Aflatoxiny se tvoří během růstu na navlhých plodinách, kde působí na reprodukční orgány rostlin a plísně produkující aflatoxiny jsou schopné se dále rozmnožovat při dalším zpracování nebo skladování těchto plodin (Kalhotka, 2014).



Tabulka 1: Maximální limity vybraných potravin pro obsah aflatoxinů dle nařízení Komise (ES) č. 1881/2006

Kontaminant	Surovina/potravina	Maximální hodnoty
Aflatoxin B1	Mandle, pistácie, meruňková jádra určené k přímé lidské spotřebě	8 µg/kg
	Lískové ořechy a para ořechy určené k přímé lidské spotřebě	5 µg/kg
	Obilné příkrmy a ostatní příkrmy pro kojence a malé děti	0,10 µg/kg
Aflatoxin M1	Syrové mléko, tepelně ošetřené mléko a mléko pro výrobu mléčných výrobků	0,050 µg/kg

Výskyt aflatoxinů v zemědělských komoditách představuje vysoké riziko pro zdraví hospodářských zvířat a s tím spojené ekonomické ztráty. Vnímavá pro aflatoxiny jsou především kuřata, krůty, kachny a prasata, naopak odolnější je skot a ovce. Pro jejich rozvoj značně přispívá nedostatečné sušení sklizně, špatné skladování, vlhké prostředí a teplo. Můžeme je nacházet u různých druhů ořechů, v kukuřici, mléce a mléčných výrobcích. (Negash, 2018).

## 2.2 Ochratoxiny

Ochratoxiny jsou sekundární metabolity, které produkují rody *Aspergillus* a *Penicillium*. Rod *Aspergillus* tvoří ochratoxiny především v teplých oblastech, kde je pro jejich růst vhodná teplota okolo 28 °C. Rod *Penicillium* tvoří mykotoxiny v chladnějších oblastech při teplotě od 4 °C (Kalhotka, 2014).

Nejznámějším toxinem z této skupiny je ochratoxin A (OTA), který se zároveň považuje za nejvíce toxický ze skupiny ochratoxinů. Způsobuje neurotoxické a karcinogenní poškození. Dle proběhlých studií může být jeho výskyt spojen s chronickým tubulointersticiálním onemocněním ledvin zvaným jako balkánská endemická nefropatie (BEN). Ta byla zaznamenána v Bulharsku, Rumunsku, Bosně a Hercegovině a Chorvatsku. Jde o chronické progresivní onemocnění, které vede k chronickému selhání ledvin (Pavlović, 2013). Mezi další účinky OTA na organismus se řadí karcinogenita, teratogenita, neurotoxicita a imunotoxicita (Köszegi a Poór, 2016).

Kontaminovaným krmivem přecházejí toxiny do zažívacího traktu zvířat, kde se dokáží hromadit v orgánech, které mohou dále kontaminovat produkty z nich získávané, jako jsou mléko, maso a masné výrobky (Kumar *et al.*, 2020).

Nejcitlivějšími pro OTA jsou prasata, u kterých způsobuje onemocnění zvané porcinní mykotoxická nefropatie, doprovázející gastroenteritidy, zvracení a nadměrné močení. Dochází k úhynu zvířat během pár dní z důvodu dehydratace organismu. Nefropatii může způsobovat i u drůbeže, která je k němu také citlivá. U přežvýkavců dochází díky jejich mikroflóře k přeměně OTA na méně toxický  $\alpha$ -ochratoxin (Suchý a Herzig, 2005).

Tabulka 2: Maximální limity vybraných potravin pro obsah ochratoxinu A dle nařízení Komise (ES) č. 1881/2006

Kontaminant	Surovina/potravina	Maximální hodnoty
Ochratoxin A	Víno	2 $\mu\text{g}/\text{kg}$
	Pražená kávová zrna	5 $\mu\text{g}/\text{kg}$
	Rozpustná káva	10 $\mu\text{g}/\text{kg}$
	Obilné příkrmy a ostatní příkrmy určené pro kojence a malé děti	0,50 $\mu\text{g}/\text{kg}$

Ochratoxiny se vyskytují v celé škále zemědělských komodit jako je kukuřice, pšenice, oves, káva a zejména jsou přítomny ve víně, hroznové šťávě a ovoci (Alshannaq a Yu, 2017).

OTA je od roku 1993 zařazen Mezinárodní agenturou pro výzkum rakoviny do skupiny 2B, to znamená, že je pro člověka považován za možný karcinogen (Ostrý *et al.*, 2017).

### 2.3 Patulin

Chemicky se jedná o nenasycený heterocyklický lakton, produkovaný rody *Aspergillus*, *Penicillium*, *Byssochlamys* (Alshannaq a Yu, 2017). Mezi významný kmen produkující patulin (PAT) patří *Penicillium expansum*, který je odpovědný za kontaminaci PAT v jádrových plodech, zejména pak v jablcích a výrobcích z nich (Mahato *et al.*, 2021).

Objeven byl v roce 1942, kdy byl izolován při výzkumu nových antibiotik. Vykazoval velkou účinnost v boji proti grampozitivním a gramnegativním bakteriím, jako je *Mycobacterium tuberculosis* a dalším druhům. Bohužel kvůli jeho toxickým účinkům na organismus byl jako antibiotikum vyřazen a zařazen mezi mykotoxiny (Malíř *et al.*, 2003).

Na povrchu zdravého ovoce se tyto houby vyskytují normálně. Ke zmnožení a produkci mykotoxinu dochází při porušení jejich povrchu, což může být způsobeno mechanickým poškozením či hmyzem (Patočka, 2006). Z nahnilých jablek můžeme PAT nacházet přítomný v džusech a moštech, kdy v kyselém prostředí a za přítomnosti antioxidantů je schopný vydržet teplotu i 120 °C a je tedy obtížné se ho zbavit i technologickými postupy při výrobě.

Akutní vystavování se PAT má za následek nevolnost, zvracení, střevní krvácení a léze na dvanáctníku, funkční poškození střevní bariéry, poškození ledvin (Melo *et al.*, 2012). Dlouhodobá konzumace PAT má za následek chronické poškození, kam řadíme mutagenní, neurotoxické a imunotoxické poškození především u hlodavců. Existují však obavy, zda podobné účinky nebude mít nadměrná konzumace potravin a nápojů kontaminovaných PAT i na lidi (Vidal *et al.*, 2019).

Tabulka 3: Maximální limity vybraných potravin pro obsah patulinu dle nařízení Komise (ES) č. 1881/2006

Kontaminant	Surovina/potravina	Maximální hodnoty
Patulin	Ovocné šťávy a nektary	50 µg/kg
	Fermentované nápoje získané z jablek nebo obsahující jablečnou šťávu	50 µg/kg
	Pevné výrobky z jablek (kompoty, pyré) určené k přímé lidské spotřebě	25 µg/kg
	Jablečná šťáva a pevné výrobky z jablek, včetně jablečného kompotu a pyré určené pro kojence a malé děti	10 µg/kg

Mezinárodní agenturou pro výzkum rakoviny se PAT řadí do skupiny 3, což znamená, že není považován za karcinogenní pro člověka (Ostrý *et al.*, 2017).

## 2.4 Fusariové mykotoxiny

Rod *Fusarium* produkuje více druhů mykotoxinů. Rozlišujeme tři hlavní skupiny fusariových mykotoxinů, a to zearalenon, trichotheceny, a fumonisiny. Hlavním rozdílem od rodů *Penicillium* a *Aspergillus* spočívá v době, kdy dochází k tvorbě toxinu. Rod *Fusarium* produkuje toxiny před sklizní nebo neprodleně po ní, kdežto rod *Penicillium* a *Aspergillus* jsou charakteristické tím, že kontaminují krmivo při špatném sušení a následném špatném skladování (Havránková a Ovesná, 2012).

#### 2.4.1 Zearalenon

Zearalenon (ZON) se řadí mezi mykotoxiny produkované některými druhy rodu *Fusarium*, především kmeny *Fusarium graminearum* a *Fusarium semitectum*. Chemicky se jedná o lakton kyseliny  $\beta$ -resorcylové. Díky jeho podobnosti s estrogeny má estrogenní účinky na zvířata a lidi (Alshannaq a Yu, 2017). Estrogenně působí především na prasata, méně na skot a drůbež. Dokáže způsobit hyperémii, oteklá rodidla, zduření prsních žláz a v těžkých případech může docházet k vyhřeznutí rekta a vaginy (Malíř *et al.*, 2003). Při výzkumu expozice ZON u laboratorních zvířat způsoboval neplodnost, otoky dělohy, atrofie vaječníků a hyperestrogenismus (Alshannaq a Yu, 2017). Kromě estrogenních účinků byly prokázány také anaboličké účinky u jehňat a volů, kterým byly podávány přípravky syntetického ZON a došlo k nárůstu jejich hmotnosti o 10 až 24 % při podávání méně potravy (Malíř *et al.*, 2003).

V Kanadě a ve Spojených státech amerických dochází ke kontaminaci ZON nejčastěji v kukuřici a pšenici, naopak v evropských zemích je nejčastěji kontaminováno žito, oves a pšenice (Alshannaq a Yu, 2017).

Tabulka 4: Maximální limity vybraných potravin pro obsah zearalenonu dle nařízení Komise (ES) č. 1881/2006

Kontaminant	Surovina/potravina	Maximální obsah
Zearalenon	Nezpracované obiloviny jiné než kukuřice	100 $\mu\text{g}/\text{kg}$
	Nezpracovaná kukuřice kromě nezpracované kukuřice určené ke zpracování mokrým mletím	350 $\mu\text{g}/\text{kg}$
	Obiloviny určené k přímé lidské spotřebě (Obilná mouka, otruby, klíčky)	75 $\mu\text{g}/\text{kg}$
	Kukuřičné příkrmy pro kojence a malé děti	20 $\mu\text{g}/\text{kg}$

Trichothecey jsou považovány za nejvíce chemicky rozmanité ze skupiny fusariových mykotoxinů. Máme 4 hlavní skupiny trichotheceových mykotoxinů, které dělíme dle struktury na skupiny A, B, C a D. Nejvýznamnějšími jsou u skupiny A T-2 toxin, HT-2 toxin a u skupiny B deoxinivalenol (Havránková a Ovesná, 2012).

#### 2.4.2 Trichothecey

K popisu účinku trichotheceů na člověka došlo při vypuknutí epidemie alimentární toxické aleukémie (ATA) během druhé světové války v letech 1944-1945 v tehdejší SSSR,

kdy se konzumovalo přezimované obilí a klíčky. Mezi symptomy se řadily záněty dutiny ústní a gastrointestinální sliznice přecházející až k zvracení a bolesti břicha. Po několika dnech docházelo k vymizení těchto symptomů a pacientovi bylo lépe. Při dalším vystavení se toxinu docházelo po několika týdnech k rozvinutí progresivní leukopenie, agranulocytózy, nekrotické angíny, poškození kostní dřeně a sepse (Krměčık a Kysilka, 2001). Mortalita onemocnění dosahovala až 60 % z celkového počtu nakažených a docházelo k ní v důsledku celkové sepse organismu (Patočka, 2004).

#### 2.4.2.1 T-2 toxin

T-2 toxin je řazen do skupiny A trichothecenových mykotoxinů a je považován za jeden z nejtoxičtějších z rodu fusáriových mykotoxinů. T-2 toxin je schopný negativně působit na více orgánů jako jsou mozek, ledviny a gastrointestinální trakt (Zhang *et al.*, 2020). Pokládá se za jednoho z možných původců ATA společně s dalším mykotoxinem DON.

HT-2 toxin vzniká jako metabolický produkt T-2 toxinu. Pro člověka představuje vysoké zdravotní riziko a může způsobovat nekrózu kůže, hemoragie, ale hlavně působí na imunitní systém, kde způsobuje změny v počtu leukocytů a zvýšenou vnímavost k infekcím (Havránková a Ovesná, 2012). Dle Zhang *et al.*, (2020) tyto toxiny způsobují neurotoxicitu, indukující nekrózu a apoptózu neuronových buněk. Oba dva jsou také schopni působit cytotoxicky na hepatocyty (Yang *et al.*, 2017).

Oba je můžeme nacházet v kukuřici, ovsu, ječmeni, fazolích, sójových bobech, a cereálních produktech (Buszewska-Forajta, 2020).

#### 2.4.2.2 Deoxynivalenol

Deoxynivalenol (DON) triviálním názvem vomitoxin byl poprvé izolován v roce 1973 v USA, kdy po podání infikovaného krmiva pomocí *Fusarium graminearum* způsobilo prasatům zvracení neboli vomitus (Malíř *et al.*, 2003).

Řadíme ho do skupiny B trichothecenových mykotoxinů a je nejvíce stanovovaným toxinem v zrnech a to především u pšenice, ječmene, ovsa, žita a kukuřice. Můžeme ho také nalézat v dětské výživě vyráběné z obilovin, rýži, pivu, česneku, sójových bobech. Na přítomnost DON v cereáliích může ukazovat přítomnost zrn změněné barvy a struktury, zrna jsou načervenalá, bělavá výrazně lehká a popřípadě scvrklá (Suchý a Herzig, 2005).

Obvyklými projevy intoxikace je nevolnost, zvracení, krvácení na sliznicích, porucha krvetvorby a při vyšších dávkách může způsobit náhlý úhyn zvěře. Mechanismus toxického

účinku je v enterocytech, kde vyvolává apoptózu a inhibuje proteosyntézu. Velmi citlivá k DON jsou prasata, u kterých při příjmu vyšších dávek vyvolává zvracení, akutní průjmy a při nižších dávkách zvířata ubývají na váze a odmítají krmivo. U drůbeže, jsou nacházena vajíčka se sníženou hmotností a zhoršenou kvalitou skořápky (Suchý a Herzig, 2005). U lidí bylo prokázáno akutní gastrointestinální onemocnění (Kalhotka, 2014).

Tabulka 5: Maximální limity vybraných potravin pro obsah deoxynivalenolu dle nařízení Komise (ES) č. 1881/2006

Kontaminant	Surovina/potravina	Maximální hodnoty
Deoxynivalenon	Nezpracované obiloviny jiné než pšenice tvrdá, oves a kukuřice	1250 µg/kg
	Pečivo, jemné trvanlivé pečivo, sušenky, svačinky z obilovin a snídaňové cereálie	500 µg/kg
	Obilné příkrmy a ostatní příkrmy určené pro kojence a malé děti	200 µg/kg

#### 2.4.3 Fumonisin

Fumonisin (FUM) byly objeveny díky izolaci druhu *Fusarium moniliforme* MRC 826 z kukuřice. Z uvedené kultury byly izolovány nepopsané mykotoxiny, které dostaly název fumonisin. Prvním zástupcem takto izolovaným byl Fumonisin B<sub>1</sub> (FB1) (Malíř *et al.*, 2003). FUM jsou produkovány především druhy *Fusarium verticillioides* (dříve *Fusarium moniliforme*), *Fusarium proliferatum*, *Fusarium anthophilum* a *Alternaria alternata*.

Strukturně se podobají sfingolipidovým bázím jako je sfinganin a sfingosin. Tato struktura tedy naznačuje mechanismus jejich účinku spočívající v narušení metabolismu sfingolipidů (Yazar a Omurtag 2008).

Bylo izolováno přibližně 28 druhů FUM, které řadíme do skupin A, B, C a P. Nejčastěji se vyskytujícím FUM je fumonisin B<sub>1</sub> (FB1), který je běžným kontaminantem kukuřice. FUM můžeme dále nacházet v pšenici, sóji, černém čaji a ječmeni (Alshannaq a Yu, 2017). V roce 2014 byly zjištěny FB1, FB2 a FB3 jako kontaminanty u 98 % vzorků z kukuřičných produktů pocházející z čínské provincie Šan-tung (Jiang *et al.*, 2015).

Tabulka 6: Maximální limity vybraných potravin pro obsah fumonisinů dle nařízení Komise (ES) č. 1881/2006

Kontaminant	Surovina/potravina	Maximální hodnoty (suma B1 a B2)
Fumonisin	Nezpracovaná kukuřice kromě nezpracované kukuřice určené ke zpracování mokrým mletím	4000 µg/kg
	Kukuřičné příkrmy a ostatní příkrmy určené pro kojence a malé děti	200 µg/kg
	Kukuřičné snídaňové cereálie a svačinky z kukuřice	800 µg/kg

*Fusarium verticillioides* způsobila během roku 1970 koňskou leukoencefalomalacii (ELEM), což je smrtelné onemocnění způsobující nekrózu neuronů centrální nervové soustavy. U prasat je pak považován za původce plicního edému (Yazar a Omurtag, 2008). Dále bylo zjištěno, že cílí na játra a ledviny a dochází k silné toxicitě u laboratorních zvířat (Alshannaq a Yu, 2017). Mezinárodní agenturou pro výzkum rakoviny je FB1 klasifikován do skupiny 2B, což znamená, že je pro člověka potenciálně karcinogenní (Ostrý *et al.*, 2017).

### 3 Prevence vzniku mykotoxinů

Mykotoxiny představují vysoké riziko pro hospodářská zvířata, ale také lidi. Proto je nutné se zaměřit na preventivní opatření před setím plodin na pole, během růstu plodin a během skladování těchto plodin. Mezi preventivní metody před setím řadíme výběr kvalitních zrn. V dnešní době probíhají výzkumy geneticky modifikovaných plodin, které jsou odolné vůči plísnovým infekcím a jsou přizpůsobeny místním podmínkám (Haque *et al.*, 2020). Musíme zde také zařadit metody k ošetření proti hmyzu, jelikož hmyz je schopný roznášet spory plísní. Proto musíme zařadit i využití různých pesticidů, jejichž využití je ale v dnešní době často omezováno (Ogunade *et al.*, 2018). Dnes je zkoumáno využití biopesticidů, obsahující užitečné houby, které mají za úkol ovlivňovat růst rostlinných patogenů. Tyto houby bojují s patogeny o potravu, místo nebo tvoří látky, které patogen usmrtí (Sarrocco a Vannacci, 2018).

Během růstu plodin hraje důležitou roli dodržování osevních postupů, což znamená střídání plodin se správnými druhy, například po sklizni kukuřice zůstává na poli velké množství zbytků, které představují potenciální riziko pro další oseté plodiny (Pavelková a Muccio, 2016).

Během sklizně je nutné sklízet potraviny včas, sklízet plodiny zralé a nekontaminované plísněmi, nastavit výšku sečení plodin tak, aby nedocházelo ke kontaminaci půdou. Dále by mělo docházet k neprodlenému uskladňování, abychom zabránili vystavování plodin zbytečné vlhkosti, která je příznivá pro rozvoj mykotoxinů (Munkvold, 2014).

Během skladování bychom měli skladovat krmivo pouze čisté a nekontaminované, udržovat nízké hodnoty vlhkosti prostředí, skladovat dostatečně vysušená zrna, udržovat anaerobní podmínky a dbát zvýšené opatrnosti pro pronikání škůdců a hmyzu do siláže (Peng *et al.*, 2018).

Jako další preventivní opatření můžeme také zařadit využití některých mikroorganismů schopných potlačit růst toxigenních hub a zabránit kumulaci mykotoxinů. Příkladem může být využití kmene *Aspergillus niger*, který potlačuje růst *Aspergillus flavus* a snižuje obsah AFB1 (Xing *et al.*, 2017). Byly také objeveny 3 neaflatoxigenní kmeny *Aspergillus flavus*, které kompetitivně vylučují toxigenní kmeny aspergilů. Tyto kmeny se využívají v USA pro kontrolu kontaminace u kukuřice, pistáciích a bavlníkových semen (Chang *et al.*, 2012).

Prevenici rozvoje mykotoxinů můžeme provádět i v našich domácnostech, kdy bychom měli dobře kontrolovat kupované potraviny, zda nejeví známky napadení plísní, nekupovat potraviny po době záruční lhůty a samozřejmě nakupovat pouze tolik potravin, kolik jich jsme



schopni zkonsumovat, aby nedocházelo k dlouhodobému skladování těchto potravin, jako je skladování ovoce a zeleniny.

Potraviny jasně napadené plísní například chléb, džemy, kompoty bychom v žádném případě nikdy neměli konzumovat. Většina mykotoxinů je tepelně odolná a v případě plesnivého chleba je pravděpodobná možnost výskytu ochratoxinu A i u tepelně zpracovaných topinek. U džemů a kompotů nikdy nevyhazujeme pouze viditelně napadená místa, ale vždy celý obsah. Mykotoxiny jako je PAT jsou schopné difundovat do celého obsahu zavařeniny (Malíř *et al.*, 2003).

## 4 Fyzikální a chemické metody degradace mykotoxinů

### 4.1 Fyzikální metody degradace

Za prvotní opatření můžeme považovat mechanické třídění napadených zrn. Je to velice efektivní opatření, během kterého dochází k likvidaci viditelně nakažených zrn či semen od zdravých a dochází ke snížení možnosti rozvoje plísní a případné kontaminace celé sklizně (Luo *et al.*, 2018). V ekonomicky méně vyspělých zemích se třídění provádí ručně, dnes již existuje možnost využití třídících strojů.

Dalším způsobem fyzikální dekontaminace může být ošetření varem za vysokých teplotních hodnot. Většina mykotoxinů je stabilní i za vysokých teplot a při nízkých hodnotách pH a toto ošetření na ně tedy neúčinkuje. Tepelné ošetření můžeme kombinovat i s vyššími hodnotami tlaku, kterých můžeme dosahovat v tlakových nádobách (autoklávech), ve kterých dochází k desinfekci pomocí nasycené či přehřáté vodní páry. Citlivost mykotoxinů k tomuto ošetření je závislé na druhu mykotoxinu, době vystavení se zvýšené teplotě, obsahu vody v krmivu a samotných hodnotách teploty. Za termostabilní mykotoxiny považujeme bezvodé aflatoxiny, námelové alkaloidy a ZON, naopak citrinin je teplem velmi dobře rozpouštěn. U PAT může také docházet k jeho dobrému rozpuštění za zvýšených teplot, avšak působením vitamínu C, který PAT stabilizuje, nedochází k jeho rozpuštění ani za vysokých teplot (Hezig a Suchý, 2005).

Dále k ošetření krmiva může být využíváno UV záření. AFB1 a OTA mohou být potenciálně dobře degradovány pomocí UV záření. UVA a UVB vykazovala účinnost při ozařování mandlí, kdy došlo k téměř úplnému odstranění aflatoxinů (Luo *et al.*, 2018).

Využití rozpouštědel jako je aceton či etanol k extrakci mykotoxinů je účinné například u aflatoxinů, u kterých se provádí extrakce z hrubě namletých jader olejnatých plodin. Tato metoda má však řadu nevýhod, jako už cenovou náročnost tak při zpracování dochází k znehodnocení šrotu o některé živiny, které jsou v těchto rozpouštědlech rozpustné, a tím může docházet i ke změnám v organoleptických vlastnostech (Velíšek a Hajšlová, 2009).

#### 4.1.1 Fyzikální adsorpce mykotoxinů

Další možností odstranění mykotoxinů z krmiva je jejich navázání na inertní částice či mikroorganismy, které odejdou z trávicího traktu společně s výkaly (Rada a Havlík, 2012). Za látky toho schopné můžeme považovat hydratovaný hlinitokřemičitan, bentonity, sepiolity a minerální jíly. Tyto látky se přidávají přímo do potravy, kdy při průchodu trávicím traktem

na sebe váží molekuly mykotoxinů a tím je izolují od vstřebání do krve a toxických účinků na organismus. Velíšek a Hajšlová (2009) uvádějí, že při podávání hydratovaného hlinitokřemičitanu vápenatého do krmiva dojných krav se snížilo vylučování aflatoxinu M1 až o 24-44 %.

Bentonity jsou materiály, které vykazují vysokou schopnost vázat AFB1. Bentonit je minerální jíl vznikající ze sopečného popela. Thajský bentonit při teplotě 600°C dokáže odstranit až 96 % AFB1 (Wongtangtintan *et al.*, 2014).

Aktivní uhlí je další z adsorbentů, využívající své dobré adsorpce ve vodním prostředí. Několik studií prokázalo, že pomocí jejich porézní struktury dochází ke snížení zbytků aflatoxinů, ZON, DON (Luo *et al.*, 2018).

Adsorpce za využití adsorbentů je vhodné k odstranění aflatoxinů, ochratoxinů a námelových alkaloidů, méně účinná je v porovnání s odstraňováním trichothecenů, FUM a ZON. Společnost BIOMIN vyvinula bentonit (dioktaedrický montmorillonit), jenž je schopný vázat aflatoxiny dle platných nařízení referenční laboratoře Evropské unie ([www.biomin.net](http://www.biomin.net)).

## 4.2 Chemické metody degradace

Využití chemických látek pro dekontaminaci mykotoxinů zahrnuje zásady, oxidační činidla, organická činidla a další látky (Luo *et al.*, 2018). Úskalím využívání chemických látek však je, že spousta z nich způsobí změnu barvy, chutě a nutričních hodnot surovin (Adebo *et al.*, 2020)

Látky využívané k degradaci mykotoxinů řadíme mezi oxidační a redukční prostředky. Ozon a peroxid vodíku vykazují oxidační účinky v boji proti mykotoxinům (Rada a Havlík, 2012). Využití ozonu při dekontaminaci mykotoxinů vykazuje slibné výsledky při odstraňování aflatoxinů, DON a celkového počtu hub (Trombete *et al.*, 2016). Mezi redukční činidla řadíme kyselinu askorbovou, siřičitany, pyrosiřičitany, jejichž účinky snižují koncentraci AFB1 a DON v krmivech. Pyrosiřičitan sodný vykazoval účinky v transformaci DON na DON-sulfonát (DONS), který je považován za méně toxický. Selata krmená takto ošetřeným krmivem nevykazovala toxické postižení jako je charakteristické pro intoxikaci DON (Dänicke *et al.*, 2005).

Amoniak je účinný ve snižování obsahu aflatoxinů, FUM a OTA v zrnech a také dokáže zabránit růstu mykotoxigenních hub. Užitím oxidu siřičitého ke konzervaci krmiva vede k částečné degradaci aflatoxinů B1 a G1 a může také rozkládat PAT (Velíšek a Hajšlová, 2009).

## 5 Biotransformace mykotoxinů

Biotransformací mykotoxinů můžeme rozumět jako využití mikroorganismů, kvasinek nebo enzymů při přeměně mykotoxinů na jejich metabolity, které jsou svými účinky pro zvířata netoxická nebo vykazují menší toxicitu než výchozí toxiny a vyloučení těchto látek z organismu je pro ně snazší. Mikroorganismy, které jsou využívány k detoxikaci, by měly splňovat řadu kritérií, jako být bezpečné, nepatogenní, degradovat mykotoxiny, být aktivní během skladování, neměnit vůni, chuť, nutriční hodnoty a mít minimum požadavků k jejich pěstování a produkci (Muhialdin *et al.*, 2020).

Účinek detoxikace spočívá buď v tvorbě enzymu, který rozkládá mykotoxin nebo adsorpci na buněčnou stěnu mikroorganismů, se kterými odchází toxin z organismu. Může se také využívat nejrůznějších rostlinných extraktů jako piperin, lutein, karotenoidy, éterické oleje (Aikov a Mehta, 2015). Využití biologických metod v boji proti mykotoxinům můžeme považovat za účinnější a specifitější metody, díky kterým nedochází k velké změně nutričních a sensorických hodnot krmiva a metody, která méně znečišťují životní prostředí (Zhu *et al.*, 2017). Tyto metody jsou velice slibné v boji proti mykotoxinům, jelikož mohou být specificky zaměřeny a nezanechávají toxické zbytky.

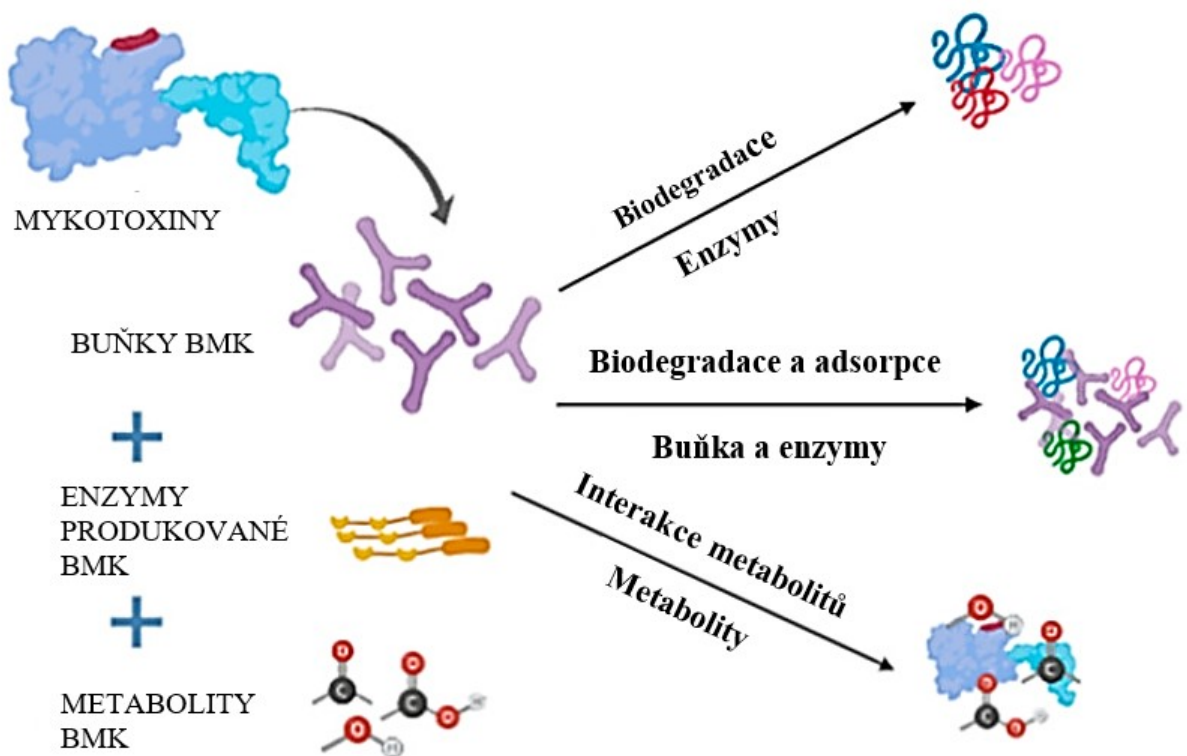
### 5.1 Biotransformace pomocí adsorpce přes stěnu mikroorganismů

Využívanou metodou k odstranění mykotoxinů je jejich vazba na stěnu mikroorganismu a jeho následné odstranění z organismu. Podmínkou pro toto využití je, aby vazba mezi mykotoxinem a stěnou mikroba byla stabilní při různých hodnotách pH, a to z důvodu průchodu tohoto komplexu celým zažívacím traktem, kde dochází k těmto výkyvům pH (Hathout a Aly, 2014). Mezi původce schopné na sebe navázat mykotoxiny řadíme kvasinky a bakterie mléčného kvašení (BMK). Proběhla řada výzkumů, během kterých docházelo ke zkoumání probiotických kmenů BMK (*Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Bifidobacterium*) a kvasinek (*Saccharomyces cerevisiae*). Tyto pokusy byly úspěšné a prokázala se tak schopnost vázat některé molekuly prostřednictvím vazebných struktur na povrch buněčné stěny (Rada a Havlík, 2012).

BMK můžeme považovat za jedny z bezpečných pro využití v potravinách, jelikož jde o mikroorganismy běžně se vyskytující v lidském střevě a řada z nich je snadno kultivovatelná. Kvasinky a BMK se dříve využívaly ke zpracování potravin na krmiva, což je dnes hojně využíváno jako přirozený postup pro zpracování krmiva. Díky fermentaci potravy pomocí BMK si krmivo zachovává svou výživovou hodnotu a přispívají k rozvoji struktury a chuti

potravin. Účinek, kterým dochází k odstranění mykotoxinů, spočívá ve vazbě toxinu s buněčnou stěnou BMK. Této schopnosti je dosahováno díky přítomnosti polysacharidů, proteinů a peptidoglykanů v jejich buněčné stěně (Chapot-Chartier a Kulakauskas, 2014).

Mechanismus účinku BMK v odstraňování mykotoxinů dosud není zcela s jistotou objasněn a na základě proběhlých výzkumů se předpokládají 3 možné cesty degradace mykotoxinů za využití BMK. První možností je znehodnocování mykotoxinů za využití enzymů tvořených buňkami BMK, druhou adsorpce na buněčnou stěnu BMK a třetí možností je reakce mykotoxinů s metabolity tvořenými buňkami BMK (Muhialdin *et al.*, 2020).



Obrázek 1: Schéma mechanismů podílející se na degradaci mykotoxinů pomocí bakterií mléčného kvašení (převzato a upraveno podle Muhialdin *et al.*, 2020)

### 5.1.1 Adsorpce aflatoxinů

Aflatoxin B1 řadíme mezi nejvíce studované mykotoxiny, jelikož je to nejběžněji se vyskytující mykotoxin v potravinách a také je v porovnání s ostatními druhy aflatoxinů vysoce toxický. Nejčastějšími druhy studovanými pro adsorpci jsou *Lactobacillus* a *Saccharomyces*, které mohou účinně vázat aflatoxiny pomocí polysacharidů zakotvených v jejich bakteriální stěně.

El-Nemazi *et al.* (1998) při výzkumu prokázali, že kmeny *Lactobacillus rhamnosus* GG a *Lactobacillus rhamnosus* LC-705 vykazovaly schopnost až z 80% účinností vyvazovat AFB1 ze zkoumaného roztoku. Peltonen *et al.*, (2001) zkoumali schopnost rodu *Lactobacillus*, *Bifidobacterium* a *Lactococcus* adsorbovat aflatoxiny. Při tomto výzkumu zjistili, že 3 kmeny rodu *Lactobacillus* dokáží vyvazovat aflatoxiny až s 50% účinností. U kmene *Lactobacillus amylovorus strains* CSCC 5160 byly účinky v boji proti AFB1 59,7 %, u kmene CSCC 5197 to bylo 57,8 % a u *Lactobacillus rhamnosus* 54,6 %. Účinky zkoumaného kmene *Bifidobacterium lactis* CSCC1906 se účinky pohybovaly okolo 48 % a dalším účinným kmenem byl *Bifidobacterium animalis* CSCC1942, jehož efektivnost byla přes 45 %. Nejúčinnější z rodu *Lactococcus* byl kmen *Lactococcus lactis ssp cremoris* ARH74, který vyvazoval přes 41 % AFB1 (Peltonen *et al.*, 2001).

Chlebitcz a Śliżewska (2020) kromě kmenů *Lactobacillus* zkoumali i detoxikační účinnost kvasinky *Saccharomyces cerevisiae*, u které byly hodnoty v boji proti AFB1 podobné jako hodnoty *Lactobacillus*. Po 6 hodinách se snížila koncentrace v průměru o 58 % a po 24 hodinách došlo ke snížení AFB1 až o 65 % z původní hodnoty ve vzorku (Chlebitcz a Śliżewska, 2020)

### 5.1.2 Adsorpce Ochratoxinu A

Piotrowska (2014) provedla výzkum k detoxikaci ochratoxinu A pomocí 3 druhů BMK. Jednalo se o kmeny *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus brevis* a *Lactobacillus sanfranciscensis*. Experiment byl prováděn v MRS médiu a PBS pufru. Tato média byla naočkována živou nebo tepelně inaktivovanou biomasou BMK. Hodnoty se lišily v závislosti na druhu a hustotě dané biomasy, kdy v MRS médiu došlo k poklesu o 16 %-35 % OTA a v PBS pufru přibližně o 14 %-26 % OTA. Závěrem tohoto zkoumání bylo, že tepelně inaktivované buňky mají vyšší schopnost v odbourávání OTA než živá biomasa o shodné koncentraci. Jednalo se ale také o velice rychlou reakci, kdy po 30 minutách byl z PBS OTA odstraněn. Vazba mezi OTA a buňkou se dala částečně uvolnit promýváním pomocí vody nebo kyseliny, což značí, že se nejedná o příliš pevnou vazbu. Podobný experiment proběhl již v roce 2012, kdy byl zkoumán vliv na detoxikaci OTA pomocí kvasinek *Saccharomyces cerevisiae* živých a tepelně inaktivovaných. Kvasinky v závislosti na koncentraci sušiny v biomase vážaly toxin od 20 % do 75 %. Také se dokázalo, že tepelně inaktivované kvasinky váží OTA více než živé buňky (Piotrowska, 2012).

Fuchs *et al.* (2008) při zkoumání detoxikace OTA a PAT prokázali až 90% účinnost dekontaminace OTA pomocí kmene *Lactobacillus acidophilus* prostřednictvím adsorpce na jeho buněčnou stěnu.

### 5.1.3 Adsorpce fumonisinů

Niderkonr *et al.* (2006) zkoumali 26 kmenů BMK a 3 kmeny *Propionibacterium* pro zjištění účinnosti odstraňování FB1, FB2 a DON z kultivačního média. Z jejich zkoumání lze říci, že ve schopnosti vázat mykotoxiny byly obecně účinnější BMK než *Propionibacterium*. Tato schopnost však byla ovlivněna pH, jelikož při pH 7 a více nebyly BMK účinné v odstraňování FB1 a FB2. Dále bylo také prokázáno, že FB2 byl vychytáván více v porovnání s ostatními zkoumanými mykotoxiny (Niderkorn *et al.*, 2006).

Chlebicz a Śliżewska (2020) při zkoumání účinků *Lactobacillus* sp (12 kmenů) a kvasinky *Saccharomyces cerevisiae* (6 kmenů) zjistili účinnost v degradaci směsi FUM. Bakterie rodu *Lactobacillus* snížila koncentraci FUM v průměru o 51 % po 6 hodinách inkubace. Po inkubaci 24 hodin klesla původní koncentrace FUM v průměru o 70 %. Inkubace po dobu 24 hodin s kvasinkou *Saccharomyces cerevisiae* klesla původní koncentrace FUM až o 72 % z původní hodnoty (Chlebicz a Śliżewska, 2020)

### 5.1.4 Adsorpce zearalenonu

Při zkoumání schopnosti adsorbovat ZON z organismu zvířat, se ukázalo, že kvasinky se chovají relativně stabilně ve schopnosti adsorbovat ZON a za tuto funkci jsou odpovědné funkční skupiny sacharidů zakotvené v buněčných stěnách (Wang *et al.*, 2019).

Účinky kmenů RC008, RC009, RC012 a RC016 *Saccharomyces cerevisiae* zkoumali Armando *et al.* (2012). Dokázali účinnost adsorpce ZON v závislosti na tloušťce buněčné stěny, kdy kmen RC008 vykazoval malý obsah buněčné stěny a byl méně účinný při odstraňování mykotoxinu. Naopak kmeny RC009, RC012 a RC016 se vyznačovaly velkou schopností odstraňovat mykotoxin a největším obsahem buněčné stěny. Tyto údaje pak vedly k závěru, že schopnost kvasinek reagovat s mykotoxiny je především adsorpčního charakteru a čím více buněčné stěny kvasinka obsahuje, tím je ve schopnosti vyvazovat ZON účinnější (Armado *et al.*, 2012).

Zhao *et al.* (2015) zkoumal účinek 27 kmenů *Lactobacillus plantarum* na odstranění ZON ve vodném médiu. Z takto zkoumaných kmenů se vyznačovaly 3 s vyšší schopností degradovat ZON a to kmeny *L. plantarum* 22, *L. plantarum* 39 a *L. plantatum* 4, které

degradovaly mykotoxin s účinností 47 %, 38 % a 39 %. Tyto kmeny byly použity pro další zkoumání na závislost degradace na teplotě, kdy se ukázalo, že nejvyšší aktivitu vyvozovat ZON mají při teplotách 37 °C a 30 °C. Pro teplotu 37 °C vyvažovalo *L. plantarum* 22 ZON s účinností 49 %, *L. plantarum* 39 ze 44,5 % a *L. plantarum* 2 z 56,6 % (Zhao *et al.*, 2015).

Byly také zkoumány absorpční schopnosti některých kmenů *Bacillus* spp. jmenovitě *Bacillus subtilis* 168 a *Bacillus natto* CICC 24640, které jsou schopné vyvozovat ZON s účinností až 55 %. Adsorpce ZON kmeny *Bacillus* je podobná adsorpci kmeny *Lactobacillus*, jelikož se v obou případech jedná o grampozitivní bakterie s charakteristickou buněčnou stěnou. Zároveň se ukázalo, že absorpční schopnost kmenů *Bacillus* spp. je méně důležitá než jejich schopnost degradovat mykotoxin enzymaticky, a proto se další výzkumy zaměřovaly na jejich využití v technologii degradace enzymů (Tinyiro *et al.*, 2011).

#### 5.1.5 Adsorpce trichothecenových mykotoxinů

Při výzkumu adsorpce DON pomocí kmenů *Lactobacillus* a *Saccharomyces cerevisiae*, se došlo k závěru, že tyto kmeny nejsou tolik účinné v adsorpci DON v porovnání ve schopnosti vázat aflatoxiny, ZON nebo FUM. Po 24 hodinové inkubace s kmeny *Lactobacillus* došlo ke snížení původní koncentrace DON ve vzorku o 30 % a pomocí kvasinky *Saccharomyces cerevisiae* v průměru o 33 %. Naopak k adsorpci T-2 toxinu se tyto kmeny ukázaly jako účinné a ve vysoké míře snižovali jeho obsah. V průměru došlo k poklesu až o 61 % pomocí kmenů *Lactobacillus* a 61 % pomocí kmenů *Saccharomyces cerevisiae* (Chlebitcz a Śliżewska 2020). Podobného výsledku dosáhli i Zou *et al.* (2015), kteří zkoumali účinek adsorpce kmeny kvasinky *Saccharomyces cerevisiae*, kde závěrem uvedli, že za snížení T-2 toxinu může vazba kvasinek s mykotoxinem (Zou *et al.*, 2015).

Pro snížení obsahu trichothecenů ve sladových zrnech pšenice byla použita suspenze BMK, která snížila obsah DON, T-2 toxinu a HT-2 toxinu v průměru o 23 %, 34 % a 58 %. Suspenze se skládala z *Lactobacillus sakei*, *Pediococcus acidilactici* a tří kmenů *Pediococcus pentosaceus* (Juodeikiene *et al.*, 2018).

## 5.2 Biotransformace mykotoxinů enzymaticky

Kromě metod chemických a fyzikálních, jejichž využití v dekontaminaci je často nedostatečné, ovlivňuje nutriční hodnoty a chuť krmiv je slibnou metodou biologická transformace mykotoxinů, při které se využívá schopnosti kvasinek, hub a bakterií rozkládat či enzymaticky transformovat mykotoxiny na jiné méně toxické sloučeniny. Řada mikrobů, které jsou toho schopné, můžeme nacházet jako přirozenou součást trávicího traktu



zvířat (Loi *et al.*, 2017). Reakce podílející se na biotransformaci zahrnují acetylaci, glykosylaci, štěpení kruhu, hydrolýzu, deaminaci a dekarboxylaci (Li *et al.*, 2020).

V dnešní době existují i komerčně prodávané přípravky účinné v biotransformaci některých druhů mykotoxinů. Společnost BIOMIN<sup>®</sup> vyvinula produktovou řadu Mykofix<sup>®</sup>, jež představuje krmná aditiva deaktivující řadu mykotoxinů přítomných v krmivech. Enzymaticky dokáží odstraňovat ZON, FUM, trichotheceny, OTA a s 99% účinností adsorbovat aflatoxiny. FUM zyme<sup>®</sup> je jediný z jejich přípravků, který obsahuje vyvinutý čištěný enzym fumonisinesterázu účinný v degradaci FUM (<https://www.biomin.net>).

#### 5.2.6 Enzymatická degradace aflatoxinů

Existuje mnoho studií zaměřených na biotransformaci aflatoxinů, ale většina z nich je zaměřena na detoxikaci AFB1, jelikož se jedná o nejtoxičtější z aflatoxinů.

V roce 1998 Liu *et al.*, získaly extrakty z pelet mycelia houby *Armillariella tabescens*, jehož účinnost na snižování toxicity a mutagenity testovali na potkanech. Došli k závěru, že tyto extrakty obsahovaly enzymy, které snižují mutagenitu otevřením difuranového kruhu AFB1 a účinně snižuje koncentraci při nižších koncentracích AFB1 v substrátu (Liu *et al.*, 1998).

Zkoumala se i účinnost enzymů lakáz extrahovaných z hub bílé hniloby (ligninolytické houby) pro schopnost biotransformovat AFB1. Tyto houby degradují lignin a mohou být účinné proti polyaromatickým uhlovodíkům. Při použití kmene *Pleurotus ostreatus* docházelo k poklesu modré fluorescence, což značí, že docházelo ke štěpení laktonového kruhu AFB1 a tím i jeho účinné degradaci (Motomura *et al.*, 2003). Čistý lakázový enzym z houby *Trametes versicolor* vykazoval účinnost v boji s AFB1 až 87 % a rekombinantní lakázový enzym exprimovaný *Aspergillus niger* vykazoval účinnost 55 % (Albetrs *et al.*, 2009)

Byly provedeny nejen výzkumy za využití hub či kvasinek ale i bakterií. Alberts *et al.* (2006) stanovovali degradační působení extracelulární frakce kapalné kultury grampozitivní tyčinky *Rhodococcus erythropolis*. Pokles koncentrace byl sledován po dobu 72 hodin a již po 2 hodinách docházelo k poklesu AFB1 ve zkoumaném vzorku. Po této době se ve zkoumaném vzorku nacházelo pouze 33,2 % zbytkové koncentrace aflatoxinu. Současně byl také proveden Amesův test, který dokázal, že došlo k výraznému poklesu mutagenní reakce a po 72 hodinách se nejevil výrazný rozdíl v mutagenní reakci mezi negativními referenčními vzorky a vzorky s obsahem *Rhodococcus erythropolis* (Alberts *et al.*, 2006).

Zhao *et al.* (2011) připravili a vyčistili enzym z *Myxococcus fulvus* zvaný jako myxobacteria aflatoxin degradation enzyme (MADE), který vykazoval značnou účinnost v degradaci AFB1, AFG1 a AFM1 z roztoků. Aktivita tohoto enzymu prokázala stabilitu v širokém rozmezí pH mezi 5,0-7,0 a teplot mezi 30 °C-45 °C, což může být výhodné pro využití MADE v zažívacím traktu zvířat (Zhao *et al.*, 2011).

Petchkongkaew *et al.*, (2008) provedli řadu screeningových testů za využití *Bacillus* spp. k odstranění AFB1, při kterém z 23 izolátů *Bacillus* spp. bylo 11 účinných v detoxikaci AFB1. Zajímavé je, že kmen *Bacillus licheniformis* degradující AFB1 s účinností 74 % dokázal degradovat OTA s 92% účinností (Petchkongkaew *et al.*, 2008).

Farzaneh *et al.* (2012) dokázali účinnost degradace AFB1 na skořápkových plodech pistácií pomocí *Bacillus subtilis* UTBSP1, který vykazoval účinnost až 95 %. Další výzkum provedli Chen *et al.* (2015) na arašídové moučce pomocí ošetření *Streptococcus thermophilus* a *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, kde dosahovali účinnosti až téměř 100% v degradaci AFB1.

Samuel *et al.* (2014) byli schopni dosáhnout degradace AFB1 až z 90 % po inkubaci 24h s *Pseudomonas putida* a také byli schopni identifikovat metabolity degradace jako AFD1, AFD2, a AFD3, které mají mnohem nižší mutagenitu a toxicitu než původní AFB1.

### 5.2.7 Enzymatická degradace ochratoxinu A

Pro biotransformaci OTA je využívána řada bakterií, plísní, kvasinek, které jsou schopné přeměňovat OTA a to především za vzniku ochratoxinu  $\alpha$  (OTA $\alpha$ ), který je považován za netoxický a zároveň má přibližně 10x kratší čas eliminace z organismu než OTA (Loi *et al.*, 2017).

Mezi první enzym schopný hydrolyzovat OTA řadíme karboxypeptidázu A (CPA), která byla izolována z hovězí slinivky břišní (Pitout, 1969).

K degradaci OTA byl také proveden výzkum za využití několik kmenů *Aspergillus*. Z testovaných kmenů OTA eliminovaly pouze dva kmeny a to *Aspergillus fumigatus* a *Aspergillus niger*, pro další studie se pokračovalo pouze s netoxigenním druhem *Aspergillus niger*. Tento kmen degradoval OTA jak v pevném, tak i kapalném médiu, což je slibné pro eliminaci toxinu z pevných substrátů jako jsou obiloviny (Varga *et al.*, 2000). Dalším zkoumaným kmenem z tohoto rodu byl *Aspergillus tubingensis* izolovaný z Meju (výrobek ze sušených sójových bobů). Především dva kmeny *Aspergillus tubingensis* M036 a M074

dokázaly degradovat OTA až z 95 % během 14dní, což je dostačující k degradaci OTA během fermentace sóji, která trvá přibližně 6 měsíců (Cho *et al.*, 2016).

#### 5.2.8 Enzymatická degradace fumonisinů

Pro účinnou biotransformaci FUM byly objeveny enzymy karboxylesterázy (EC 3.1.1) a aminotransferázy (EC 2.6.1). Účinek karboxylesteráz spočívá v odštěpení dvou trikarboxylových skupin z FB1, za vzniku jeho hydrolyzované formy HBF1, též známé jako aminopentol (AP1), který má přibližně 7x menší toxicitu než FB1, ale stále je pro organismus toxický. V dalším kroku tedy dojde k přeměně tohoto metabolitu na 2-OXO-12,16-dimethyl-3,5,10,14,15-ikosaenpentol poloacetal (2-OP1 hemiketal) (Loi *et al.*, 2017). Duvick *et al.*, (1998), byli prvními, kteří uvedli kmeny *Exophiala spinifera*, *Rhinochrysiella atrovirens* jako účinné v detoxikaci FB1. Tento mechanismus si v roce 1994 nechali patentovat (Duvick *et al.*, 1998).

Enzym fumonisinesteráza (EC 3.1.1.87) izolovaná ze *Sphingopyxis* sp MTA144, produkovaným kmenem *Komagataella pastoris* (dříve *Pichia pastoris*) je součástí patentované formule výrobku FUMzyme®, který biotransformuje FB1 a další FUM na jejich netoxické metabolity. Esteráza degraduje FUM odštěpením diesterových vazeb a uvolněním kyseliny trikarboxylové (www.biomin.cz).

#### 5.2.9 Enzymatická degradace zearalenonu

V organismu dochází k metabolické přeměně ZON na  $\alpha$ -zearalenol a  $\beta$ -zearalenol, přičemž se nejedná o metabolity méně estrogenně účinné než sám ZON. Další redukcí pak vznikají  $\alpha$ -zearalanol a  $\beta$ -zearalanol, které jsou už méně toxické než ZON (Loi *et al.*, 2017). Způsob, jakým jsou mikroorganismy schopné měnit strukturu ZON, spočívá především v hydrolýze laktonového kruhu, štěpení dihydroxybenzenového kruhu, redukce karbonylové, ketonové skupiny a modifikace fenolové hydroxylové skupiny (Huang *et al.*, 2019).

Jak už bylo zmíněno některé kmeny *Bacillus* spp. byly zkoumány pro svou schopnost degradovat ZON pomocí adsorpce, ale zároveň se u nich vyskytla schopnost degradace ZON enzymaticky. Za použití kultivačních extraktů *Bacillus subtilis* 168 a *Bacillus natto* CICC 24640 byl ZON degradován po inkubaci 24hodin při 30 °C s účinností 81 % až 100 %. Po reakci nebyla zjištěna přítomnost žádného z estrogenních metabolitů, ale docházelo k produkci oxidu uhličitého, jeho přítomnost ukazuje na degradaci ZON pomocí dekarboxylace (Tinyiro *et al.*, 2011).

Zhu *et al.* (2021) izolovali kmen *Bacillus* sp S62-W, který zcela transformoval ZON na ZON-14-fosfát za 24hodin pomocí mechanismu fosforylace. Metoda fosforylace vykazuje slibné využití v detoxikaci ZON, tato metoda však není dosud zcela prozkoumána a je třeba vyvinout strategie uplatnění tohoto transformačního mechanismu pro komerční účely (Zhu *et al.*, 2021).

Takahashi-Ando *et al.* (2002) izolovali gen ZHD101 kódující enzym laktonhydrolasu. Tento enzym izolovali z mykoparazitické houby *Clonostachys rosea* IFO 7063, který úspěšně degradoval ZON. Gen byl využit k vytvoření transgenní *Escherichia coli* a *Saccharomyces cerevisiae*. Zatím co rekombinantní *Escherichia coli* dokázala zcela degradovat ZON z kapalného roztoku, rekombinantní kvasinky *Saccharomyces cerevisiae* nebyly v degradaci ZON zcela účinné a degradovali ZON na metabolit  $\beta$ -zearalenol, který je stále estrogeně aktivní (Takahashi-Ando *et al.*, 2004). Tento tým se také podílel na vývoji geneticky modifikované kukuřice s tímto genem. Semena této kukuřice byla schopna vyloučit téměř všechn ZON ve všech fázích jejich zrání s účinností až 95 % (Igawa *et al.*, 2007).

Huang *et al.* (2018) dokázali dle výzkumu, že kombinace složených probiotik (*Bacillus subtilis*, *Lactobacillus casein* a *Candida utilis*) a enzymů degradující mykotoxiny (*Aspergillus oryzae*) mají vysoké detoxikační účinky současně na AFB1 a ZON, ale také tato kombinace pozitivně ovlivňuje střevní epitelovou bariéru proti poškození mykotoxiny (Huang *et al.*, 2019). Kombinací složených probiotik a enzymů degradující mykotoxiny může představovat další metodu v boji proti mykotoxinům.

#### 5.2.10 Enzymatická degradace trichothecenových mykotoxinů

Nejnámějšími mykotoxiny ze skupiny trichothecenů jsou HT-2 toxin, T-2 toxin a DON. Nejčastěji se vyskytujícím mykotoxinem z této skupiny je DON, není však považován za tolik toxický v porovnání s T-2 toxinem.

Ito *et al.* (2013) se věnovali výzkumu bakterie *Sphingomonas* sp kmen KSM1 jako bakterii potenciálně schopnou degradovat DON. Tento kmen během svého růstu degraduje DON i nivalenol a využíval tyto mykotoxiny jako zdroj uhlíku. Klonováním genu odpovědného za degradaci DON byla určena genová sekvence kódující enzym cytochromu P540 (Ito *et al.*, 2013).

Dnes je komerčně prodáváný přípravek Biomin® BBSH 797, který obsahuje čistou kulturu *Eubacterium* BBSH 797 izolovanou z bacherové tekutiny, který se využívá

k biodegradaci trichothecenů, díky němuž jsou převedeny na neškodné metabolity (Loi *et al.*, 2017)

Gao *et al.* (2018) izolovali z kuřecích střev bakterii *Eggerthella* sp. DII-9, která se účinně podílela na transformaci DON, HT-2 toxinu, T-2 triolu a T-2 tetraolu. Rovněž se při studiu prokázala její stabilita při vysokých výkyvech pH (5-10) (Gao *et al.*, 2018).

## 6 Závěr

V této bakalářské práci jsem se zabývala charakterizací nejčastěji se vyskytujících mykotoxinů v přírodě a vlivem jaký mají na lidský organismus a hospodářská zvířata. Dále jsem se věnovala způsobům jejich dekontaminace a odstraňování z krmiva a ze surovin určené pro další zpracování.

Fyzikální a chemické metody degradace často způsobují nutriční ztráty potravin, vysoké náklady, nízkou efektivnost a specifičnost, a proto je dnes řada výzkumů zaměřována na využití biologické transformace pomocí mikroorganismů přeměňující mykotoxiny na méně toxické sloučeniny.

Bakterie a houby transformující mykotoxiny slouží jako zdroj enzymů, využívaných k dekontaminaci zemědělských komodit nebo jako přísady do krmiv. Stále dochází k identifikaci těchto enzymů a geny je kódující jsou klonovány a exprimovány ve vytvořených mikroorganismech, za účelem omezení kontaminace plodin před sklizní. Řada enzymů je již komerčně dostupných. Společnost BIOMIN® nabízí řadu přípravků využívajících adsorpčních či enzymatických mechanismů ve svých přípravcích. V procesu adsorpce mykotoxinů na buněčnou stěnu mikroorganismů se jeví velice účinné bakterie mléčného kvašení. Jejich využití v potravinách je bezpečné, můžeme je přirozeně nacházet v lidském střevě a řada z nich je dobře kultivovatelná. Nejúčinnějšími se zdají být dva rody a to *Lactobacillus* a kvasinky *Saccharomyces*, které dobře adsorbují aflatoxiny T-2 toxin, fumonisiny a zearalenon.

Tyto metody představují velice slibnou a ekologickou alternativu k využívání chemických a fyzikálních metod. Nedávné výzkumy spojené se vznikem komerčně dostupných enzymatických látek dávají možnost k lepšímu přístupu pro detoxikaci mykotoxinů v potravinových řetězcích pro člověka a zvířata. Na vzestupu je také využití genů kódující enzymy pro vývoj geneticky modifikovaných druhů, které jsou vhodné k průmyslové produkci.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. ADEBO, O. A., T. MOLELEKOA, R. MAKHUYELE, J. A. ADEBIYI, A. B. OYEDEJI, S. GHABSHI, M. A. ADEFISOYE, O. M. OGUNDELE a P. B. NJOBEH, A review on novel non-thermal food processing techniques formycotoxin reduction. *International Journal of Food Science and Technology* [online]. 2021, **2021**(56), 13-27 [cit. 2021-7-7]. ISSN 1365-2621. Dostupné z: <https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/ijfs.14734>
2. AIKO, V. a A. MEHTA. Occurrence, detection and detoxification of mycotoxins. *Journal of Biosciences* [online]. 2015, **40**(5), 943-954 [cit. 2021-7-7]. ISSN 0973-7138. Dostupné z: [doi:https://doi.org/10.1007/s12038-015-9569-6](https://doi.org/10.1007/s12038-015-9569-6)
3. ALBERTS J. F., W. GELDERBLOM, A. BOTHA a W. H. van ZYL. Degradation of aflatoxin B1 by fungal laccase enzymes. *International Journal of Food Microbiology* [online]. 2009, **135**(1), 47-52 [cit. 2021-7-7]. ISSN 0168-1605. Dostupné z: [doi:https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2009.07.022](https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2009.07.022)
4. ALBERTS, J. F., Y. ENGELBRECHT, P. STEYN, W. HOLZAPFEL a W. H. van ZYL. Biological degradation of aflatoxin B1 by *Rhodococcus erythropolis* cultures. *International Journal of Food Microbiology* [online]. 2006, **109**(1-2), 121-126 [cit. 2021-7-7]. ISSN 0168-1605. Dostupné z: [doi:https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2006.01.019](https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2006.01.019)
5. ALSHANNAQ, A. a J. H. YU. Occurrence, Toxicity, and Analysis of Major Mycotoxins in Food. *International Journal of Environmental Research and Public Health* [online]. 2017, **14**(6), 632 [cit. 2021-7-7]. Dostupné z: [doi:https://doi.org/10.3390/ijerph14060632](https://doi.org/10.3390/ijerph14060632)
6. ARMANDO, M. R., R. P. PIZZOLITTO, C. A. DOGI, A. L. CRISTOFOLINI, C. MERKIS, V. L. POLONI, A. M. DACLERO a L. CAVAGLIERI. Adsorption of ochratoxin A and zearalenone by potential probiotic *Saccharomyces cerevisiae* strains and its relation with cell wall thickness. *Journal of Applied Microbiology* [online]. 2012, **113**(2), 256-264 [cit. 2021-7-7]. ISSN 1365-2672. Dostupné z: [doi:https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2012.05331.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2012.05331.x)
7. ASHIQ, S.. Natural Occurrence of Mycotoxins in Food and Feed: Pakistan Perspective. *Comprehensive reviews: in Food Science and Food Safety* [online]. 2014, **14**(2), 159-175 [cit. 2021-7-7]. ISSN 1541-4337. Dostupné z: [doi:https://doi.org/10.1111/1541-4337.12122](https://doi.org/10.1111/1541-4337.12122)

8. BARBIROLI A., F. BONOMI, S. BENEDETTI, L. MONTI, T. CATTANEO, S. IAMETTI a S. MANNINO. Binding of Aflatoxin M1 to Different Protein Fractions in Ovine and Caprine Milk. *Journal of Dairy Science* [online]. 2007, **90**(2), 532-540 [cit. 2021-7-7]. ISSN ISSN. Dostupné z: doi:[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(07\)71536-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(07)71536-9)
9. *Biomin* [online]. Rakousko: BIOMIN GmbH, Austria, 1983 [cit. 2021-6-30]. Dostupné z: <https://www.biomin.net/>
10. BUSZEWSKA-FORAJTA, M. Mycotoxins, invisible danger of feed stuff with toxic effect on animals. *Toxicon* [online]. 2020, **182**(4), 34-53 [cit. 2021-7-10]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2020.04.101>
11. DÄNICKE, S., H. VALENTA, M. GAREIS, H. W. LUCHT a H. von REICHENBACH. On the effects of a hydrothermal treatment of deoxynivalenol (DON)-contaminated wheat in the presence of sodium metabisulphite (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) on DON reduction and on piglet performance. *Animal Feed Science and Technology* [online]. 2005, **118**(1-2), 93-108 [cit. 2021-7-7]. ISSN 0377-8401. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377840104002329>
12. DUVICK, J., T. ROOD, J. MADDOX a J. GILLIAM. Detoxification of Mycotoxins In Planta as a Strategy for Improving Grain Quality and Disease Resistance: Identification of Fumonisin-Degrading Microbes from Maize. *Molecular Genetics of Host-Specific Toxins in Plant Disease. Developments in Plant Pathology*. 13. Springer, Dordrecht, 1998, s. 369-381. ISBN 978-94-011-5218-1.
13. DUVICK, J., T. ROOD, J. MADDOX a J. GILLIAM *Fumonisin detoxification compositions and methods*. 1998. United States. US5792931A. Zapsáno 11.8.1998.
14. EL-NEMAZI, H. S., P. E. KANKAANPAA, S. J. SALMINEN a J. T. AHOKAS. Ability of dairy strains of lactic acid bacteria to bind a common food carcinogen, aflatoxin B1. *Food and Chemical Toxicology* [online]. 1998, **36**(4), 321-326 [cit. 2021-7-7]. Dostupné z: doi:[https://doi.org/10.1016/S0278-6915\(97\)00160-9](https://doi.org/10.1016/S0278-6915(97)00160-9)
15. FARZANEH, M., Z. Q. SHI, A. GHASSEMPOUR, N. SEDAGHAT, M. AHMADZADEH, M. MIRABOLFATHY a M. JAVAN-NIKKHAH. Aflatoxin B1 degradation by *Bacillus subtilis* UTBSP1 isolated from pistachio nuts of Iran. *Food Control* [online]. 2012, **23**(1), 100-106 [cit. 2021-7-7]. ISSN 0956-7135. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.06.018>



16. FUCHS, S., G. SONTAG, R. STIDL, V. A. EHRLICH, M. KUNDI a S. KNASMUELLER. Detoxification of patulin and ochratoxin A, two abundant mycotoxins, by lactic acid bacteria. *Potravinová a chemická toxikol* [online]. 2008, **46**(4), 1398-1407 [cit. 2021-7-7]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278691507004796>
17. GAO, X., P. MU, J. WEN, Y. SUN, Q. CHEN a Y. DENG. Detoxification of trichothecene mycotoxins by a novel bacterium, Eggerthella sp. DII-9. *Food and Chemical Toxicology* [online]. 2018, **112**(24), 310-319 [cit. 2021-7-10]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.12.066>
18. HAQUE, M. A, Y. WANG, Z. SHEN, X. LI, M. K. SALEEMI a C. HE. Mycotoxin contamination and control strategy in human, domestic animal and poultry: A review. *Microbial Pathogenesis* [online]. 2020, **142**(104095), 1-12 [cit. 2021-7-7]. ISSN 0882-4010. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.micpath.2020.104095>
19. HATHOUT, A. S. a S. E. ALY. Biological detoxification of mycotoxins: a review. *Annals of Microbiology* [online]. 2014, **64**(3), 905-919 [cit. 2021-7-7]. ISSN 1869-2044. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1007/s13213-014-0899-7>
20. HAVRÁNKOVÁ, H. a J. OVESNÁ. GENY BIOSYNTÉZY TRICHOTHECENŮ U RODU *Fusarium*. *Chemické listy*. 2012, **106**(9), 818-825. ISSN 1213-7103.
21. HRDINA, V. Přírodní toxiny a jedy. Praha: Karolinum, 2004. ISBN 80-246-0823-5.
22. HUANG, W., J. CHANG, P. WANG, C. LIU, Q. YIN, Q. ZHU, F. LU a T. GAO. Effect of the combined compound probiotics with mycotoxin-degradation enzyme on detoxifying aflatoxin B1 and zearalenone. *The Journal of Toxicological Sciences* [online]. 2018, **43**(6), 377-385 [cit. 2021-7-7]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.2131/jts.43.377>
23. HUANG, W., J. CHANG, P. WANG, C. LIU, Q. YIN, A. SONG, T. GAO, X. DANG a F. LU. Effect of Compound Probiotics and Mycotoxin Degradation Enzymes on Alleviating Cytotoxicity of Swine Jejunal Epithelial Cells Induced by Aflatoxin B1 and Zearalenone. *Toxins* [online]. 2019, **11**(1), 12 [cit. 2021-7-7]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.3390/toxins11010012>
24. CHANG, P. K., H. K. ABBAS, M. A. WEAVER, K. C. EHRLICH, L. L. SCHARFENSTEIN a P. J. COTTY. Identification of genetic defects in the

- atoxicogenic biocontrol strain *Aspergillus flavus* K49 reveals the presence of a competitive recombinant group in field populations. *International Journal of Food Microbiology* [online]. 2012, **153**(3), 192-196 [cit. 2021-7-13]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.01.005>
25. CHAPOT-CHARTIER, M. P. a S. KULAKAUSKAS. Cell wall structure and function in lactic acid bacteria. *Microbial Cell Factories* [online]. 2014, **13**(S9), 23 [cit. 2021-7-7]. ISSN 1475-2859. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1186/1475-2859-13-S1-S9>
26. CHEN, Y., Q. KONG, C. CHI, S. SHAN a B. GUAN. Biotransformation of aflatoxin B1 and aflatoxin G1 in peanut meal by anaerobic solid fermentation of *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. *International Journal of Food Microbiology* [online]. 2015, **211**(1), 1-5 [cit. 2021-7-7]. ISSN 0168-1605. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.06.021>
27. CHLEBICZ, A. a K. ŚLIŻEWSKA. In Vitro Detoxification of Aflatoxin B1, Deoxynivalenol, Fumonisin, T-2 Toxin and Zearalenone by Probiotic Bacteria from Genus *Lactobacillus* and *Saccharomyces cerevisiae* Yeast. *Probiotics and Antimicrobial Proteins* [online]. 2020, **12**(1), 289-301 [cit. 2021-7-7]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1007/s12602-018-9512-x>
28. CHO, S. M., S. E. JEONG, K. R. LEE, H. P. K. SUDHANI, M. KIM, S. Y. HONG a S. H. CHUNG. Biodegradation of Ochratoxin A by *Aspergillus tubingensis* Isolated from Meju. *Journal of Microbiology and Biotechnology* [online]. 2016, **26**(10), 1687-1695 [cit. 2021-7-7]. ISSN 1738-8872. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.4014/jmb.160606016>
29. IGAWA, T., N. TAHAJASHI-ANDO, M. OCHIAI, S. OOHSATO, T. SCHIMIZU, T. KUDO, I. YAMAGUCHI a M. KIMURA. Reduced Contamination by the *Fusarium* Mycotoxin Zearalenone in Maize Kernels through Genetic Modification with a Detoxification Gene. *Applied and Environmental Microbiology* [online]. 2007, **73**(5), 1622-1629 [cit. 2021-7-7]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1128/AEM.01077-06>
30. ITO, M., I. SATO, M. ISHIZAKA, S. I. YOSHIDA, M. KOITABASHI, S. YOSHIDA a S. TSUSHIMA. Bacterial Cytochrome P450 System Catabolizing the *Fusarium* Toxin Deoxynivalenol. *Applied and Environmental Microbiology*

- Microbiology* [online]. 2013, **79**(5), 1619-1628 [cit. 2021-7-7]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1128/AEM.03227-12>
31. JIANG, D., F. LI, F. ZHENG, J. CHEN a W. LI. Fumonisin B1, B2 and B3 in corn products, wheat flour and corn oil marketed in Shandong province of China. *Food Additives Contaminants: Part B* [online]. 2015, **8**(3), 169-174 [cit. 2021-7-7]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1080/19393210.2015.1028480>
32. JUODEIKIENE, G., E. BARTKIENE, D. CERNAUSKAS, D. CIZEIKIENE, D. ZADEIKE, V. LELE a V. BARTKEVICS. Antifungal activity of lactic acid bacteria and their application for Fusarium mycotoxin reduction in malting wheat grains. *LTW: Food Science and Technology* [online]. 2018, **89**(42), 307-314 [cit. 2021-7-10]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.10.061>
33. KALHOTKA, L.. Mikromycety v prostředí člověka: vláknité mikromycety (plísňe) a kvasinky. Brno: reptisk, 2014. ISBN 978-80-7375-943-8.
34. KŐSZEGI, T. a M. POÓR. Ochratoxin A: Molecular Interactions, Mechanisms of Toxicity and Prevention at the Molecular Level. *Toxins* [online]. 2016, **8**(4), 111 [cit. 2021-7-7]. ISSN 2072-6651. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.3390/toxins8040111>
35. KRMENČÍK, P. a J. KYSILKA. Trichotheceny. *Biotox.cz* [online]. Krmenciik, Kysilka, 2001 [cit. 2021-7-10]. Dostupné z: <http://www.biotox.cz/toxikon/mikromycety/trichotheceny.php>
36. KUMAR, P., D. K. MAHATO, B. SHARMA, R. BORAH, S. HAQUE, C. M. M. MAHMUD, A. K. SHAH, D. KAWAL, H. BORA a S. BUI. Ochratoxins in food and feed: Occurrence and its impact on human health and management strategies. *Toxicon* [online]. 2020, **187**(4), 151-162 [cit. 2021-7-7]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2020.08.031>
37. LI, P., R. SU, R. YIN, D. LAI, M. WANG, Y. LIU a L. ZHOU. Detoxification of Mycotoxins through Biotransformation. *Toxins* [online]. 2020, **12**(2), 1-37 [cit. 2021-7-7]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.3390/toxins12020121>
38. LIU, D. L., D. S. YAO, R. LIANG, L. MA, W. Q. CHENG a L. Q. GU. Detoxification of Aflatoxin B1 by Enzymes Isolated from *Armillariella tabescens*. *Food and Chemical Toxicology* [online]. 1998, **36**(7), 563-574 [cit. 2021-7-7]. ISSN 0278-6915. Dostupné z: doi:[https://doi.org/10.1016/S0278-6915\(98\)00017-9](https://doi.org/10.1016/S0278-6915(98)00017-9)

39. LOI, M., F. FANELLI, V. C. LIUZZI, A. F. LOGRIECO a G. MULÈ. Mycotoxin Biotransformation by Native and Commercial Enzymes: Present and Future Perspectives. *Toxins* [online]. 2017, **9**(4), 111 [cit. 2021-7-7]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.3390/toxins9040111>
40. LUO, Ying., X. LIU aj. LI. Updating techniques on controlling mycotoxins - A review. *Food Control* [online]. 2018, **89**(-), 123-132 [cit. 2021-7-7]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.01.016>
41. MAHATO, D. K., M. KAMLE, B. SHARMA, S. PADHI, S. DEVI, K. DHAWAN, R. SELVAKUMAR, D. MISHRA, A. KUMAR, S. ARORA, N. A. SINGH, P. KUMAR. Patulin in food: A mycotoxin concern for human health and its management strategies. *Toxicon* [online]. 2021, **198**(1), 12-23 [cit. 2021-7-6]. ISSN 0041-0101. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2021.04.027>
42. MALÍŘ, F. a V. OSTRÝ a kolektiv autorů, Vlákňité mikromycety (plísňe), mykotoxiny a zdraví člověka. Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2003. ISBN 80-7013-395-3.
43. MELO, F. T., I. M. DE OLIVEIRA, S. GREGGIO, J. C. DACOSTA, T. N. GUECHEVA, J. SAFFI, J. A. P. HENRIQUES a R. M. ROSA. DNA damage in organs of mice treated acutely with patulin, a known mycotoxin. *Food and Chemical Toxicology* [online]. 2012, **50**(10), 3548-3555 [cit. 2021-7-6]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.fct.2011.12.022>
44. MOTOMURA, M., T. TOYOMASU, K. MIZUNO a T. SHINOZAWA. Purification and characterization of an aflatoxin degradation enzyme from *Pleurotus ostreatus*. *Microbiological Research* [online]. 2003, **158**(3), 237-242 [cit. 2021-7-6]. ISSN 0944-5013. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1078/0944-5013-00199>
45. MUHIALDIN, B. J., N. SAARI a A. S. M. HUSSIN. Review on the Biological Detoxification of Mycotoxins Using Lactic Acid Bacteria to Enhance the Sustainability of Foods Supply. *Molecules* [online]. 2020, **25**(11), 2655 [cit. 2021-7-6]. ISSN 1420-3049. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/1420-3049/25/11/2655>
46. MUNKVOLD, G. Crop Management Practices to Minimize the Risk of Mycotoxins Contamination in Temperate-Zone Maize. *Mycotoxin Reduction in Grain Chains*. 1. United States: John Wiley, 2014, s. 59-77. ISBN 9781118832790.

47. Nařízení Komise (ES) č. 1881/2006: ze dne 19. prosince 2006, kterým se stanoví maximální limity některých kontaminujících látek v potravinách. Lucembursko: Evropská komise, 2006.
48. NEGASH, D. A review of aflatoxin: occurrence, prevention, and gaps in both food and feed safety. *Journal of Nutritional Health & Food Engineering* [online]. 2018, **8**(2), 190-197 [cit. 2021-7-6]. ISSN 2373-4310. Dostupné z: doi:10.15406/jnhfe.2018.08.00268
49. NIDERKORN, V., H. BOURDA a D. P. MORGAVI. Binding of Fusarium mycotoxins by fermentative bacteria in vitro. *Journal of Applied Microbiology* [online]. 2006, **101**(4), 849-856 [cit. 2021-7-6]. ISSN 1365-2672. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2006.02958.x "
50. OQUNADE, I. M., C. MARTINEZ-TUPPIA, O. C. QUEIROZ, Y. JIANG, P. DROUIN, F. WU, D. VYAS a A. T. ADESOGAN. Silage review: Mycotoxins in silage: Occurrence, effects, prevention, and mitigation. *Journal of Dairy Science* [online]. 2018, **101**(5), 4034-4059 [cit. 2021-7-6]. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.3168/jds.2017-13788
51. OSTRÝ, V., F. MALÍŘ, J. TOMAN a Y. GROSSE. Mycotoxins as human carcinogens—the IARC Monographs classification. *Mycotoxin Research* [online]. 2017, **33**(1), 65-73 [cit. 2021-7-6]. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.1007/s12550-016-0265-7
52. OSTRÝ, V. Mikroskopické vláknité houby: Účinky mykotoxinů na lidské zdraví. *Vesmír*. 2000, **79**(4), 187-189.
53. PATOČKA, J.. *Vojenská toxikologie*. Praha: Graga Publishing, a.s, 2004. ISBN 80-247-0608-3.
54. PAVELKOVÁ D., MUCCIO M. (2016). Mykotoxiny – stále podceňované riziko. *Krmivářství*, **20**(3): 16-18.
55. PAVLOVIĆ, N. M.. Balkan endemic nephropathy—current status and future perspectives. *Clinical Kidney Journal* [online]. 2013, **6**(3), 257-265 [cit. 2021-7-6]. ISSN 2048-8513. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.1093/ckj/sft049
56. PELTONEN, K. D., H. S. EL-NAMEZI, C. A. HASKARD, J. T. AHOKAS a S. J. SALMINEN. Aflatoxin B1 Binding by Dairy Strains of Lactic Acid Bacteria and Bifidobacteria. *Journal of Dairy Science* [online]. 2001, **84**(10), 2152-2156 [cit. 2021-7-7]. Dostupné z: doi:10.3168/jds.S0022-0302(01)74660-7

57. PENG, W. X., L. MARCHAL a A. F. B. van DER-POEL. Strategies to prevent and reduce mycotoxins for compound feed manufacturing. *Animal Feed Science and Technology* [online]. 2018, **237**(14), 129-153 [cit. 2021-7-7]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.01.017>
58. PETCHKONGKAEW, A., P. TAILLANDIER, P. GASALUCK a A. LEBRIHI. Isolation of *Bacillus* spp. from Thai fermented soybean (Thua-nao): screening for aflatoxin B1 and ochratoxin A detoxification. *Journal of Applied Microbiology* [online]. 2008, **104**(5), 1495-1502 [cit. 2021-7-6]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2007.03700.x>
59. PIOTROWSKA, M.. Adsorption of ochratoxin a by *Saccharomyces cerevisiae* living and non-living cells. *Acta Alimentaria: An International Journal of Food Science* [online]. 2012, **41**(1), 1-7 [cit. 2021-7-7]. ISSN 1588-2535. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1556/aalim.2011.0006>
60. PIOTROWSKA, M.. The Adsorption of Ochratoxin A by *Lactobacillus* Species. *Toxins* [online]. 2014, **6**(9), 2826-2839 [cit. 2021-7-6]. ISSN 2072-6651. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.3390/toxins6092826>
61. PITOUT, M. J., The hydrolysis of ochratoxin a by some proteolytic enzymes. *Biochemical Pharmacology* [online]. 1969, **2**(18), 485-491 [cit. 2021-7-7]. Dostupné z: doi:[https://doi.org/10.1016/0006-2952\(69\)90224-X](https://doi.org/10.1016/0006-2952(69)90224-X)
62. RADA, V. a J. HAVLÍK. *Transformace mykotoxinů střevními mikroorganismy*. Praha, 2012. Studie. Výzkumný ústav živočišné výroby.
63. SAMUEL, M. S., A. SIVARAMAKRISHNA a A. MEHTA. Degradation and detoxification of aflatoxin B1 by *Pseudomonas putida*. *International Biodeterioration & Biodegradation* [online]. 2014, **86**(C), 202-209 [cit. 2021-7-6]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.08.026>
64. SARROCCO, S. a G. VANNACCI. Preharvest application of beneficial fungi as a strategy to prevent postharvest mycotoxin contamination: A review. *Crop Protection* [online]. 2018, **110**(24), 160-170 [cit. 2021-7-6]. ISSN 0261-2194. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.11.013>
65. SUCHÝ, P. a I. HERZIG. Plísně, mykotoxiny: prevence jejich vzniku a dekontaminace v krmivech. Praha, 2005. Studie. Výzkumný ústav živočišné výroby.

66. TAKAHASHI-ANDO, N., M. KIMURA, H. KAKEYA, H. OSADA a I. YAMAGUCHI. A novel lactonohydrolase responsible for the detoxification of zearalenone: enzyme purification and gene cloning. *Biochemical Journal* [online]. 2002, **365**(1), 1-6 [cit. 2021-7-7]. ISSN 1470-8728. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1042/bj20020450>
67. TAKAHASHI-ANDO, N., S. OHSATO, T. SHIBATA, H. HAMAMOTO, I. YAMAGUCHI a M. KIMURA. Metabolism of Zearalenone by Genetically Modified Organisms Expressing the Detoxification Gene from *Clonostachys rosea*. *Applied and Environmental Microbiology* [online]. 2004, **70**(6), 3239-3245 [cit. 2021-7-6]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1128/AEM.70.6.3239-3245.2004>
68. TINYIRO, S. E., C. WOKADALA, D. XU a W. YAO. Adsorption and degradation of zearalenone by bacillus strains. *Folia Microbiologica* [online]. 2011, **56**(4), 321-327 [cit. 2021-7-6]. ISSN 1874-9356. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1007/s12223-011-0047-8>
69. TROMBETE, F. M., Y. D. PORTO, O. FREITAS-SILVA, R. V. PEREIRA, Glória M. DIREITO, T. SALDANHA a M. E. FRAGA. Efficacy of Ozone Treatment on Mycotoxins and Fungal Reduction in Artificially Contaminated Soft Wheat Grains. *Journal of Food Processing and Preservation* [online]. 2016, **41**(3), e12927 [cit. 2021-7-6]. ISSN 1745-4549. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1111/jfpp.12927>
70. VARGA, J., K. RIGÓ a J. TÉREN. Degradation of ochratoxin A by *Aspergillus* species. *International Journal of Food Microbiology* [online]. 2000, **59**(1-2), 1-7 [cit. 2021-7-7]. ISSN 0168-1605. Dostupné z: doi:[https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(00\)00230-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(00)00230-0)
71. VELÍŠEK, J. a J. HAJŠLOVÁ. *Chemie potravin II*. 3. Hvlíčkův Brod: OSSIS, 2009. ISBN 978-80-86659-16-9.
72. VIDAL, A., S. OUHIBI, R. GHALI, A. HEDHILI, S. de SAEGER a M. de BOEVRE. The mycotoxin patulin: An updated short review on occurrence, toxicity and analytical challenges. *Food and Chemical Toxicology* [online]. 2019, **2019**(129), 249-256 [cit. 2021-7-6]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.04.048>
73. WANG, N., W. WU, J. PAN a M. LONG. Detoxification Strategies for Zearalenone Using Microorganisms: A Review. *Microorganisms* [online].

- 2019, 7(7), 208 [cit. 2021-7-6]. ISSN 2076-2607. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.3390/microorganisms7070208>
74. WONGTANGTINTAN, S., P. SAIPAN, U. TENGJAROENKUL, S. SUTHIMUN a B. TENGJAROENKUL. Effect of heat treatment on efficacy of Thai bentonite for adsorption of aflatoxin B1 in vitro. *Livestock Research for Rural Development* [online]. 2014, 1.1.2014, 26(1), 10 [cit. 2021-6-29]. ISSN 0121-3784. Dostupné z: <https://www.lrrd.cipav.org.co/lrrd26/1/teng26010.htm>
75. XING, F., L. WANG, X. LIU, J. N. SELVARAJ, Y. WANG, Y. ZHAO a Y. LIU. Aflatoxin B1 inhibition in *Aspergillus flavus* by *Aspergillus niger* through down-regulating expression of major biosynthetic genes and AFB1 degradation by atoxigenic *A. flavus*. *International Journal of Food Microbiology* [online]. 2017, 256(1), 1-10 [cit. 2021-7-13]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2017.05.013>
76. YANG, L., D. TU, Z. ZHAO a J. CUI. Cytotoxicity and apoptosis induced by mixed mycotoxins (T-2 and HT-2 toxin) on primary hepatocytes of broilers in vitro. *Toxicon* [online]. 2017, 129(1), 1-10 [cit. 2021-7-6]. ISSN 0041-0101. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2017.01.001>
77. YAZAR, S. a G. Z. OMURTAG. Fumonisin, Trichothecenes and Zearalenone in Cereals. *International Journal of Molecular Science* [online]. 2008, 9(11), 2062-2090 [cit. 2021-7-6]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.3390/ijms9112062>
78. ZHANG, J., L. YOU, W. WU, X. WANG, Z. CHRIENOVA, E. NEPOVIMOVA, Qinghua WU a Kamil KUČA. The neurotoxicity of trichothecenes T-2 toxin and deoxynivalenol (DON): Current status and future perspectives. *Food and Chemical Toxicology* [online]. 2020, 145(111676), 1-9 [cit. 2021-7-6]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111676>
79. ZHAO, L., H. JIN, J. LAN, R. ZHANG, H. REN, X. ZHANG a G. YU. Detoxification of zearalenone by three strains of *Lactobacillus plantarum* from fermented food in vitro. *Food Control* [online]. 2015, 54(8), 158-164 [cit. 2021-7-6]. ISSN 0956-7135. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.02.003>
80. ZHAO, L., S. GUAN, X. GAO, Q. MA, Y. P. LEI, X. M. BAI a C. JI. Preparation, purification and characteristics of an aflatoxin degradation enzyme from *Myxococcus fulvus* ANSM068. *Journal of Applied Microbiology* [online].



2011, **110**(1), 147-155 [cit. 2021-7-6]. ISSN 1365-2672. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2010.04867.x>

81. ZHU, Y., P. DROUIN, D. LEPP, X. Z. LI, H. ZHU, M. CASTEX a T. ZHOU. A Novel Microbial Zearalenone Transformation through Phosphorylation. *Toxins* [online]. 2021, **13**(5), 294 [cit. 2021-7-6]. ISSN 2072-6651. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.3390/toxins13050294>
82. ZHU, Y., Y. I. HASSAN, D. LEPP, S. SHAO a T. ZHOU. Strategies and Methodologies for Developing Microbial Detoxification Systems to Mitigate Mycotoxins. *Toxins* [online]. 2017, **9**(4), 130 [cit. 2021-7-6]. ISSN 2072-6651. Dostupné z: doi:<https://www.mdpi.com/2072-6651/9/4/130/htm>
83. ZOU, Z., J. SUN, F. HUANG, Z. FENG, M. LI, R. SHI, J. DING, H. LI. In Vitro Removal of T-2 Toxin by Yeasts. *Journal of Food safety* [online]. 2015, **35**(4), 544-550 [cit. 2021-7-6]. ISSN 1745-4565. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1111/jfs.12204>