

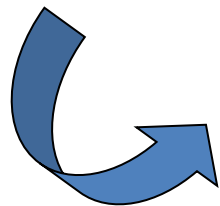
**MTA Élelmiszer-tudományi Tudományos Bizottság**  
Tudományos Kollokvium  
Budapest, 2022. október 28.



***A táplálékláncba került  
mikotoxin expozíció  
humán-egészségügyi  
kockázatának becslése***

Kovács Melinda – Zentai  
Andrea – Fodor Judit –  
Szabó András – Szeitzné  
Szabó Mária

# ÉLELMISZER



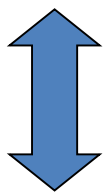
## Táplálóanyag forrás

Társadalmi, családi esemény

Életminőség fontos eleme

Hagyományok és szokások őrzője

Gazdasági alappillér



Káros anyagok bejutásának leggyakoribb útja



## Élelmiszerbiztonsági intézkedések



Az élelmiszer ne legyen ártalmas a fogyasztó egészségére, ha azt a szokásos módon készíti és fogyasztja el (FAO-WHO, 1969).



# Mikotoxinok az élelmiszerláncban



Biológiai tényezők  
- fajta érzékenysége  
- toxintermelő penészgomba (**Fusariumok!!**)

Tárolás  
- hőmérséklet  
- nedvességtartalom

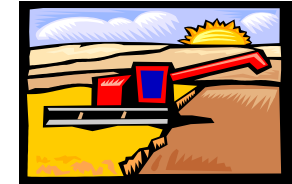
Környezeti tényezők

- hőmérséklet
- csapadék
- növényi kártevők



Szállítás, feldolgozás

Állati eredetű élelmiszer alapanyag



Betakarítás

- a szem érettsége
- hőmérséklet
- nedvességtartalom
- elhúzódo betakarítás



# Mikotoxinok humán egészségügyi hatása

Rákkeltő (carcinogen) hatás (*aflatoxin, OTA, FUM*)

Mutagén, genotoxikus és teratogén hatás (*aflatoxin, ZEA, PAT, OTA*)

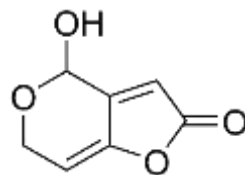
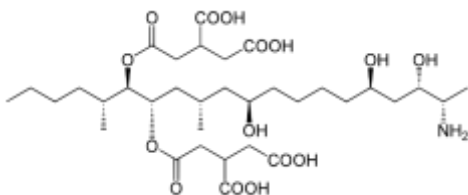
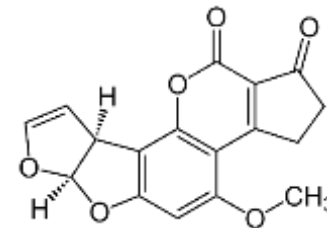
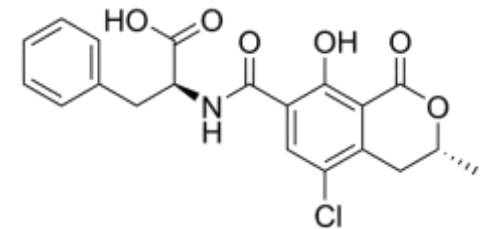
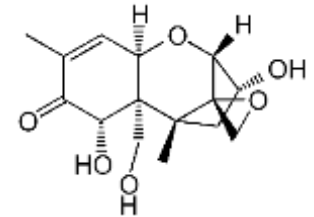
Szaporodásbiológiai zavarok (*ZEA, trichothecének*)

Ellenállóképességet befolyásoló (immunmoduláló) hatás (*trichothecének, aflatoxin, OTA*)

Lipid peroxidáció fokozása (*T-2, AFB<sub>1</sub>, OTA, FUM*)

Apoptosis indukálása (*T-2, AFB<sub>1</sub>, OTA, FUM*)

Neurotoxikus hatás (*OTA, FUM, trichothecének*)



# A mikotoxinok Nemzetközi Rákkutatási Ügynökség (IARC) általi besorolása



IARC besorolás		Mikotoxin	& Carcinogén hatás
1	2012	aflatoxinok	hepatocellularis carcinoma (HCC), epeér carcinoma
2A	-	-	
2B	1993	ochratoxin A	HCC, húgyúti / vese tumor, hererák
	2002	fumonizin B <sub>1</sub> , B <sub>2</sub>	nyelőcsőrák, HCC
	1987	szterigmatocisztin	
3	1993	deoxinivalenol zearalenon	mellrák, hüvely carcinoma (HCA, hipofízis tumor)
		nivalenol, T-2	
	1987	citrinin, patulin	

*Ostry et al. (2016), Claeys et al. (2020) és Awuchi et al. (2022) alapján*



# Néhány, feltehetően mikotoxin hatásra visszavezethető (nem daganatos) humán megbetegedés

Megbetegedés	A toxin forrása	A toxin fajtája
Alimentáris toxikus aleukémia	gabonamagvak	trichotecének
Balkán / krónikus nefropátia	gabonamagvak	ochratoxin A
Kashin Beck („Urov”) betegség	gabonamagvak	trichotecének
Ergotizmus	rizs, gabonamagvak	ergot alkaloidák
Velőcsőzáródási rendellenesség	kukorica	fumonizin B <sub>1</sub>
Kwashiorkor, Reye’s szindróma	gabonamagvak	aflatoxin B <sub>1</sub>





# Mikotoxinok előfordulása élelmiszerekben

Tej és tejtermékek (AFM<sub>1</sub>, OTA)

Hús és hústermékek (OTA)

Tojás (DON, AFB<sub>1</sub>, CPA)

Gabonamagvak (AFB<sub>1</sub>, *Fusarium* toxinok, OTA, CIT)

Olajos magvak (AFB<sub>1</sub>)

Gyümölcsök, gyümölcslevek, zöldségfélék (OTA, citrinin, patulin, *Fusarium* toxinok)

Bor, szőlő (OTA)

Sör (OTA, AFB<sub>1</sub>, *Fusarium* toxinok)

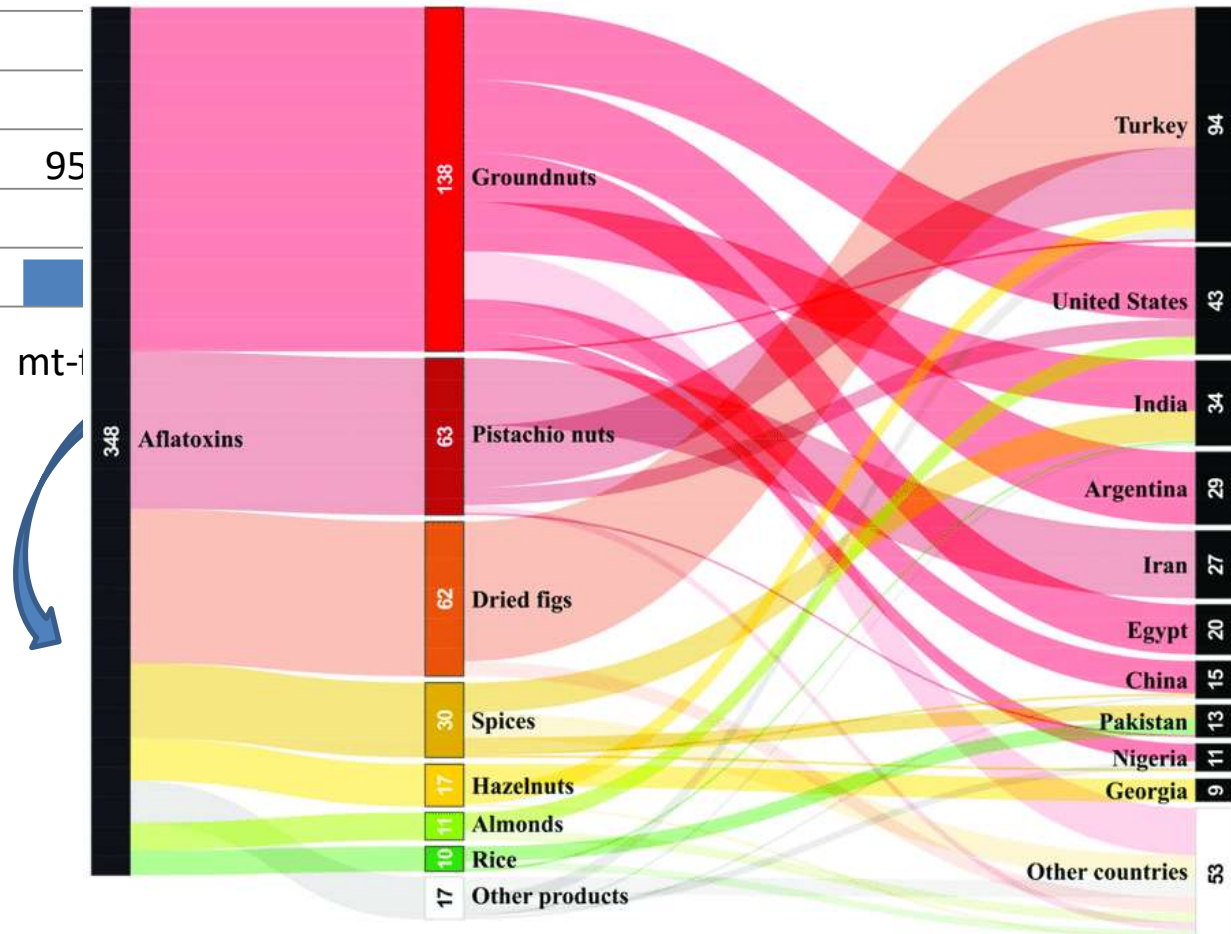
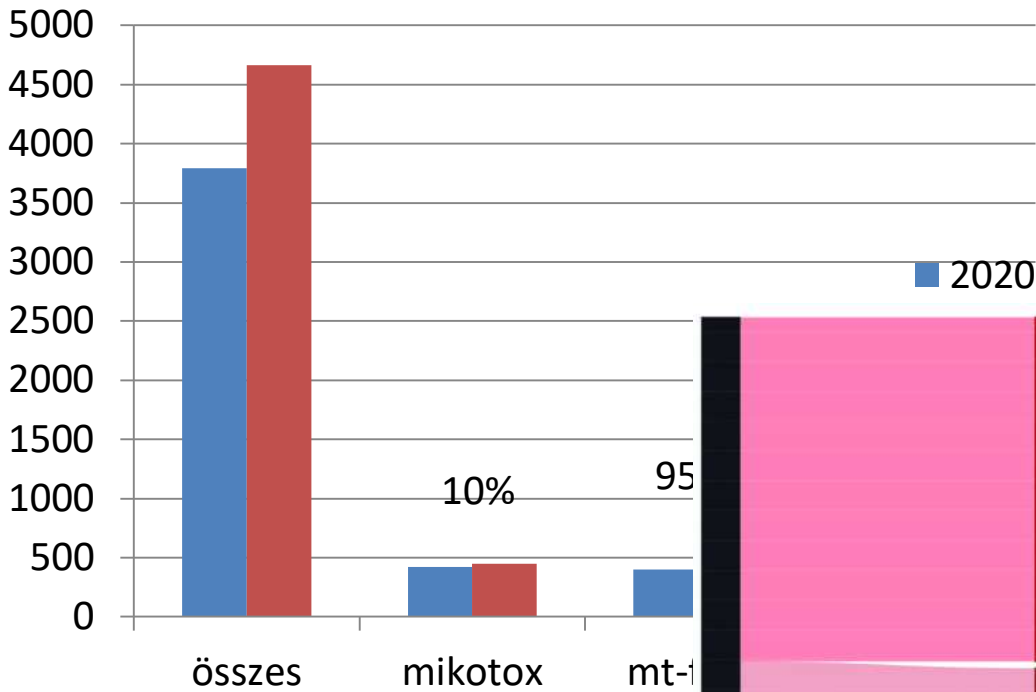
Kávé, kakaó (OTA)

Fűszerek (AFB<sub>1</sub>, OTA, *Fusarium* toxinok)

*Galvano et al. (2005) és  
Awuchi et al. (2022)  
alapján*



# RASFF\* bejelentések 2020-2021-ben



\*Rapid Alert System for  
Food and Feed



# Élelmiszerbiztonság & Kockázatbecslés

## I. Környezeti terhelés (expozíció)

Szennyezettség  
mértékének  
felmérése

+

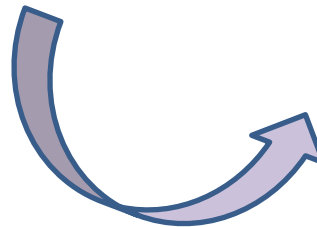
Fogyasztás  
mértékének  
becslése (TDS\*\*)

**BIOMARKEREK**



**PDI**

(Probable daily intake)



## II. Komplex toxikológiai elemzés



NOAEL\* /100



PMWI  
PMTDI



**TDI**

(Tolerable daily intake)

**ALARA**

(As low as reasonably possible)

\*no observed adverse effect level

\*\*total diet study

# A három fő *Fusarium* toxinra vonatkozó expozíció vizeletminták mikotoxin-tartalma alapján számítva

Ország	Mikotoxin	Vizsgált alanyok	PDI>TDI felett (%)	Hivatkozás
Norvégia	DON	gyerek (3-9 év)	0-21	<i>Eriksen et al., 2021</i>
Portugália	DON	összes, gyerek, serdülő	0,1; 3,2; 6	<i>Martins et al., 2021</i>
Portugália	DON ZEA	felnőtt	9-10 24	<i>Martins et al., 2020</i>
Svédország	DON	serdülők	1,6	<i>Lemming et al., 2020</i>
Svédország	DON	felnőtt	1,3	<i>Mitropoulou et al., 2018</i>
UK	DON	vegetáriánus / nem vegetáriánus felnőtt	28 3	<i>Wells et al., 2019</i>

# Hazai lakosság fumonizin B<sub>1</sub> expozíció becslése

## *Átlagos és magas kukorica termék fogyasztás esetén becsült fumonizin expozíció (µg/testsúly kg/nap)*

FB felvétel (FB <sub>1</sub> +FB <sub>2</sub> )	Összes fogyasztó		Gyerekek	
	LB scenario	UB scenario	LB scenario	UB scenario
Átlagos	0,0448	0,1199	0,0561	0,1672
95P*	0,1821	<b>0,3958</b>	0,2445	<b>0,5374</b>

\*95 percentile (magas fogyasztás), LB (lower bound) scenario: <LOD=0, LOD-LOQ=LOD, UB (upper bound) scenario: <LOD=LOD, LOD-LOQ=LOQ

TDI (FB<sub>1</sub>+FB<sub>2</sub>+FB<sub>3</sub>) = 1 µg/testsúly kg/ nap (EFSA, 2018)

TDI felett: 1% (összes), 2,4% (gyerek)

Max.: 1,81 µg/ts kg/nap

# Vizeletminták mikotoxin analízisének eredménye

## *Egészséges emberek (n=41)*

	FB <sub>1</sub>	FB <sub>2</sub>	ZEA	α-ZOL	β-ZOL	DON	OTA
pozitív (%)	100	100	98	81	19	44	100
átlag konc. (ng/ml)	0,352	0,062	0,044	0,018	0,031	5,082	0,162
max. konc. (ng/ml)	2,285	0,875	0,174	0,063	0,033	18,947	1,024

## *Cöliákiás betegek (n=19)*

	FB <sub>1</sub>	FB <sub>2</sub>	ZEA	α-ZOL	β-ZOL	DON	OTA
pozitív (%)	100	100	100	58	11	47	100
átlag konc. (ng/ml)	0,301	0,046	0,041	0,240	<LOQ	5,590	0,089
max. konc. (ng/ml)	0,495	0,226	0,121	0,071	<LOQ	9,484	0,243

	FB <sub>1</sub>	FB <sub>2</sub>	ZEA	α-ZOL	β-ZOL	DON	OTA	
LOD (ng/ml)	0,005	0,005	0,001	0,002	0,008	0,13	0,0003	DOM-1, AFM <sub>1</sub> , T-2, HT-2 nem volt kimutatható
LOQ (ng/ml)	0,017	0,016	0,003	0,007	0,025	0,42	0,001	

# Egészséges emberek expozíciójának becslése biomarker alapján

$$\text{PDI } (\mu\text{g}/\text{testsúly kg}/\text{nap}) = C \times V \times 100 / W \times E^*$$

	TDI ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ bw/day)	*E (%)	PDI ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ bw/day)		PDI/TDI (%)	PDI > TDI (%)	
			mean	max.		N	(%)
			DON	1.0		27.9	0.195
FB <sub>1</sub>	1.0	2.6	0.225	1.062	22.5	1	2.4
ZEN	0.25	36.8	0.004	0.020	1.6	0	0

PDI: becsült felvétel

\*excréciós ráta (Gambacorta et al., 2014)

Vs. 1%

TDI: tolerálható határérték



# Rutin analitikai módszerekkel nem kimutatható mikotoxinok

DON, AFB<sub>1</sub>, ZEA, stb.

**Módosított**

**Mátrixhoz kötött**

(FUM, DON & keményítő, fehérje  
OTA, DON & oligoszacharid)  
„rejtett” vagy „kötött”

Kémiaailag módosított

Hőkezelésre kialakuló  
(FB<sub>1</sub> & Maillard, 14-R-OTA, 14-  
dekarboxi-OTA)

Egyéb (pl. pH)  
(HFB<sub>1</sub>)

Biológiailag módosított

Növények által = maszkolt  
(D-3-G, Z-14-G, Z-14-S)

Állatok által (DON-glükuronid)

Gomba által (ZEN-szulfát, N-acyl-FB<sub>1</sub>)

**A humán expozíció alulbecsült lehet.**

# A módosított mikotoxinok jelenlétének kockázata

[ZEA 100%, NIV 30%, T-2 + HT-2 10%, FUM 60 %, DON 45%]

Átlag feletti gabonaféle fogyasztása megnöveli a ZEA felvétel kockázatát (TDI<sub>x2,2</sub>)

Gyerekekben a FUM felvétel elérheti a TDI-t.

Egyes esetekben a krónikus expozíció DON + metabolitjai (3-Ac-DON, 15-Ac-DON and DON-3-Glu ) esetében meghaladhatja a TDI-t.

Állategészségügyi szempontból a ZEA és a FUM esetében javasolt felülvizsgálni a NOAELs/LOAELs értékeket.

A háziállatok közül a sertés esetében reális a krónikus DON expozíció kockázata.

*EFSA Journal, 2014.12(12):3916 (FUM, ZEA, NIV, T-2, HT-2)*

*EFSA Journal, 2016.14(4):4425 (ZEA)*

*EFSA Journal, 2017.15(9):4718(DON)*

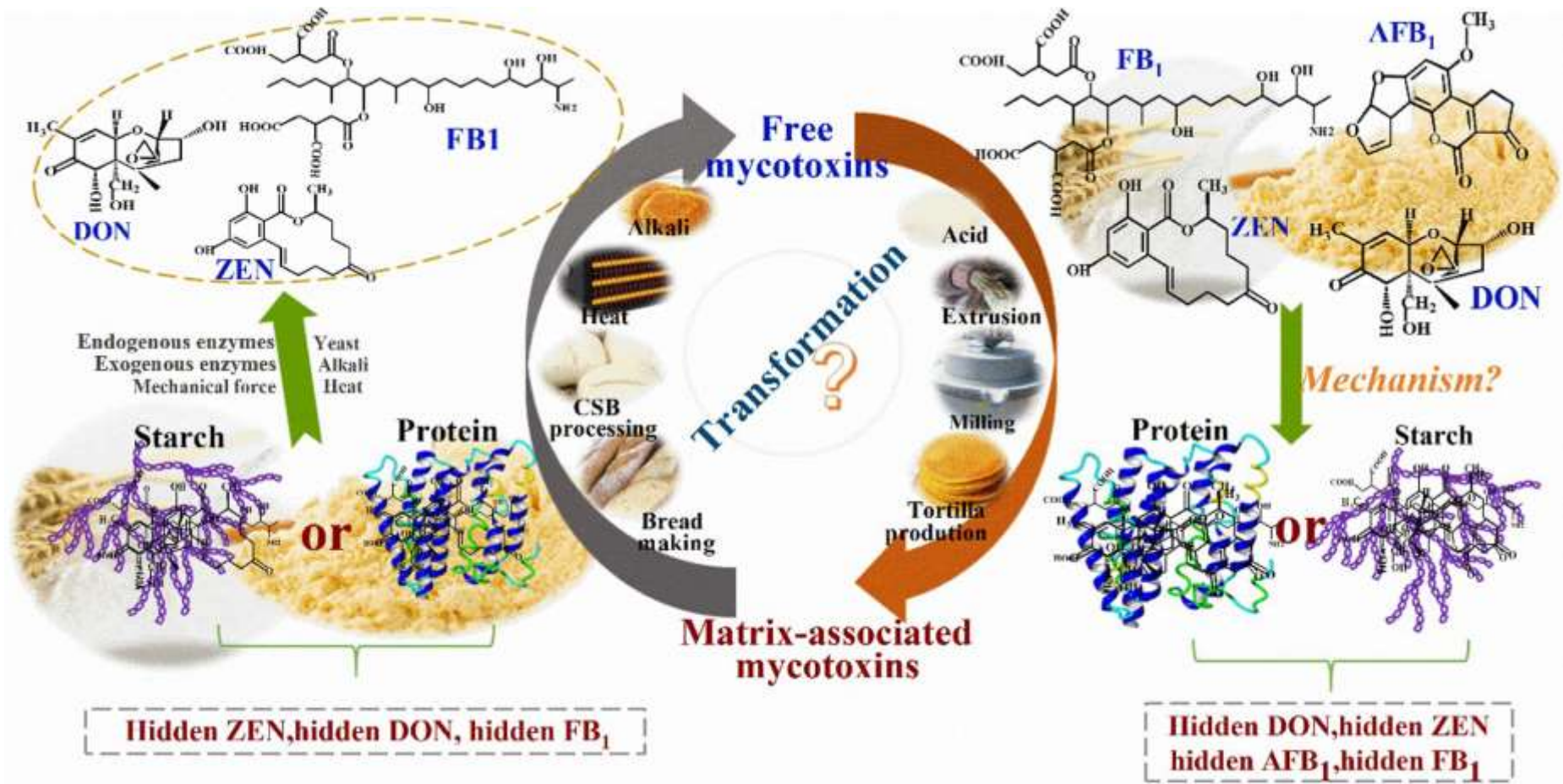
*EFSA Journal, 2017.15(7):4851 (ZEA)*

*EFSA Journal, 2018.16(2):5172 (FUM)*

**Az expozíció becslés szennyezettségi és fogyasztási adatok alapján történt !**

*EFSA Journal, 2018.16(5):5242 (rejtett FUM)*

# Élelmiszeripari feldolgozási folyamatok hatása a mátrixhoz kötött mikotoxinokra



# Néhány élelmiszeripari feldolgozási folyamat hatása a mikotoxin tartalomra élelmiszerekben

Élelmiszer	Feldolgozás	A hatás mértéke
		10-80%
	feldolgozás	10-50%
	feldolgozás	10-90%
búza tészták	DON D-3-G főzés öblítés	10-80%
búza tészták	E	
kukorica	C	%
kukorica	A	
búzakorpa	Z	
alma, készítmények	P	
alma, almaital	P	
alma, almaital	P	
alma, almaital	P	
rizs	F	

Hőmérséklet, nedvesség tartalom, pH, időtartam, nyomás, kiindulási mikotoxin koncentráció, a mikotoxin kémiai szerkezete, az élelmiszer típusa stb.

Az intakt mikotoxin szint csökkentése nem jelenti feltétlenül az összes mikotoxin tartalom csökkenését!



- Metabolizáció → toxicitás ?
- Kötött formává alakulás → biológiai hozzáférhetőség ?

# Innovatív technológiák az élelmiszer-feldolgozásban a mikotoxin tartalom csökkentésére



## Fizikai

- elektronsugárzás
- hideg (atmoszférikus) plazma (CAP)
- pulzáló elektromos térerő (PEF)
- nagy hidrosztatikai nyomás (HHP)



## Kémiai

- ózon



## Biológiai

- lactobacillusok
- élesztőgomba (*Sacch. cerevisiae*)
- enzimek
- fitonutriensek (polifenolok, esszenciális olajok)

## Gyakorlati alkalmazhatóság ?

- Költség
- Nagy mennyiségű alapanyag
- Kevés konkrét eredmény (mely mikotoxinok, milyen metabolitok stb.)
- Beltartalmi változások
- Nehezen standardizálható
- Multi-mikotoxin szennyezettség

*Nunes et al. (2021) és Hamad et al. (2023) alapján*



# Mikotoxinok & One Health





***Köszönöm a figyelmet !***

