

A leggyakoribb mikotoxinok hatása vadon élő európai őz (*Capreolus capreolus*) és mezei nyúl (*Lepus europaeus*) fajok kondíciójára

XXXVII. OTDK Biológia Szekció

Készítette: **Antal Adrián**

biológia BSc szakos III évfolyamos hallgató

Témavezető: **Dr. Szemethy László Róbert**

Társtémavezető: **Maurer Máté**

PTE Természettudományi Kar, Biológia Intézet, Agrobiológia tanszék



Pécs, 2025

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés.....	3
1.1.	Aflatoxin B1	3
1.2.	Zearalenon	3
1.3.	Dezoxinivalenol.....	4
1.4.	Fumonizin B1	4
1.5.	T-2 toxin	4
1.6.	Emésztés szerepe a mikotoxinok hatástalanításában.....	5
1.7.	Vadfajok.....	5
1.8.	Klíímaváltozás	6
2.	Célkitűzések	7
3.	Anyag és módszerek	8
3.1.	Mintagyűjtés.....	8
3.2.	Mikotoxin koncentráció meghatározása.....	8
3.3.	Statisztikai kiértékelés	9
4.	Eredmények.....	10
4.1.	A mikotoxin mérések eredményei.....	10
4.2.	A fajok közötti különbségek vizsgálata.....	11
4.3.	Az egyes mikotoxinok és kondíciós paraméterek közötti kapcsolat.....	13
4.4.	Az egyedek csoportosítása a mikotoxin szennyezettségük alapján.....	15
4.5.	A natural breaks teszt által kialakított csoportok összehasonlítása	16
5.	Diszkusszió	19
6.	Köszönetnyilvánítás	21
7.	Irodalomjegyzék	22
8.	Rövidítések jegyzéke	31

1. Bevezetés

A mikotoxinok fonalasgombák által termelt toxikus másodlagos anyagcseretermékek. Többükről is ismert, hogy komoly fenyegetést jelentenek az állati szervezetekre karcinogén, teratogén és mutagén hatásukkal (Fung & Clark, 2004). A következőkben az egyes mikotoxinok rövid ismertetésében, csak a kutatásuk aspektusában lényeges hatásokat említem meg.

1.1 Aflatoxin B1

Az aflatoxinokat elsősorban az *Aspergillus spp.* egyes tagjai termelik. Jelenlegi ismereteink alapján az egyik legveszélyesebb mikotoxin csoport, melyekkel már az 1960-as évek óta foglalkozik a tudomány, amikor is 100000 pulyka halált okozták. A betegséget 'Turkey „X” disease'-nek nevezték el (Pickova és mtsai., 2021; Blount, 1961). Azóta több mint 20 aflatoxin típust írtak le (Popescu és mtsai., 2022), melyek közül öt is emberekre bizonyítottan karcinogénként kategorizált a Nemzetközi Rákkutató Ügynökség (IARC) (Claeys és mtsai., 2020). Ide tartozik az aflatoxin B1 (AFB1) is, mely a dihidrofuranofuránok közé tartozik (Rodricks, 1969). Elsődlegesen a májat veszi célba. Wistar és Fischer patkányok esetében hepatocelluláris karcinóma kialakulását okozhatja (Angsubhakorn és mtsai., 1990; Wogan és mtsai., 1974). Alacsonyabb koncentrációk esetén házi nyulaknál kimutatták, hogy máj és testtömeg csökkenést okozhat (Sun és mtsai., 2018). Magasabb koncentrációban csökkent takarmányfelvételt, növekvő epesav termelést és májkárosodást okozhat fehérfarkú szarvasokban (Quist és mtsai., 1997),

1.2 Zearalenon

A zearalenon (ZEA), szerkezetét tekintve rezorcinsav lakton (Urry és mtsai., 1966), a *Fusarium spp.* tagjai (pl.: *F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. sporotrichioides*) által termelt nem szteroid jellegű mikotoxin erős ösztrogén jellegű hatással (Kuiper-Goodman és mtsai., 1987). Ismert, hogy a ZEA-nak májkárosító hatása van, mely hepatocelluláris karcinóma kialakulásához is vezethet csincsillákban (Čonková és mtsai., 2001) és patkányokban (Maaroufi és mtsai., 1996). Az utóbbi állat esetében a ZEA testtömeg csökkentő hatását is kimutatták (Hueza és mtsai., 2014). Sertés esetében ismert hatásai a vérben lévő anyagcseretermék mennyiségének csökkentése, emellett a vese és máj tömegének növelése (Jiang és mtsai., 2011).

1.3 Dezinivalenol

Régies néven „vomitoxin”, a trichotecének csoportjába tartozó szeszkviterpén típusú vegyület, melyekre jellemző a 12,13-epoxid gyűrű és a 9,10 telítetlen kötések (World Health Organization, 1990). A dezinivalenol (DON) a *Fusarium spp.* által termelt mikotoxin mely elsősorban erős hánytató hatásáról ismert. Szervezetbe kerülve a bélcsatornában fejt ki gyulladáskeltő hatását egerekben (Azconaolivera és mtsai., 1995) és a bélhám struktúrájára kifejtett hatásai miatt krónikus bélgyulladást is kialakíthat (Akbari és mtsai., 2014). A sertések esetében ezen hatások a csökkent takarmányfelvételt és a testtömeg csökkenése (Prelusky és mtsai., 1994; Bergsjø és mtsai., 1993). A bélcsatornára kifejtett hatása mellett házi nyulakban ismert káros hatása van a vesére és májra, melyet a mitogén aktivált jelátviteli útvonal egyes fehérjéinek expressziójára gyakorolt hatásával fejt ki (Li és mtsai., 2022).

1.4 Fumonizín B1

A fumonizín B1 (FB1) a fumonizinek között is a leggyakoribb típus (Chen és mtsai., 2021). Ezt a diészter jellegű vegyületet (propán-trikarbonsav és 2-amino-12,16-dimetil-pentahidroxikozán diészterje (Bezuidenhout és mtsai., 1988) szintén a *Fusarium spp.*, közülük is az *F. verticillioides* és *F. proliferatum* termelik elsősorban (Chen és mtsai., 2021). A FB1 az IARC által emberekre lehetséges karcinogén anyagként lett kategorizálva (Claeys és mtsai., 2020). A rákkeltő hatása mellett ismert hepatotoxikus hatása egerekben (Cao és mtsai., 2022), nefrotoxikus hatása nyulakban (Gumprecht és mtsai., 1995) és ezek együttes megjelenése szarvasmarhában (Mathur és mtsai., 2001) és patkányokban (Szabó és mtsai., 2018).

1.5 T-2 toxin

A T-2 toxin szintén a trichotecének csoportjába tartozik (World Health Organization 1990). Ezen belül is A típusú egyszerű trichotecének melyet a *Fusarium spp.* termel. A T-2 toxin sejtszinten apoptózist képes indukálni és a sejtek membránját roncsolni, ezzel kárt téve például a vese sejteiben és a hepatocitákban, így a méregtelenítésben szerepet vállaló szervek működésében (EFSA, 2011). Liu és mtsai (2021) házi nyúlban, Zhang és mtsai (2021) pedig egerekben mutatták ki a T-2 toxin vesére gyakorolt toxikus hatását, valamint, hogy reaktív oxigén gyökök (ROS) mennyiségének növekedését okozzák a szervezetben. Kecskékben a T-2 toxin májban, illetve a bélrendszerben okozott szövettani elváltozásokat és testtömeg

csökkenést (Nayakwadi és mtsai., 2020). Egerekben szintén ismert a testtömeg csökkentő, valamint a máj tömegének csökkenésére gyakorolt hatása (Kang és mtsai., 2020).

1.6 Emésztés szerepe a mikotoxinok hatástalanításában

Már az 1984-es évektől foglalkozik a tudomány a mikotoxinok hatástalanításában szerepet vállaló bendő mikroflórájával, amikor is Kiessling és mtsai. (1984) bizonyították annak szerepét a mikotoxinok lebontásában. Mára már sokkal jobban ismert, hogy a bendőben lévő baktériumok képesek lebontani az AFB1-et (Kuilman és mtsai., 1998), DON-t (Ingalls és mtsai., 1996), ZEA-t (Kiessling és mtsai., 1984), FB1-et (Caloni és mtsai., 2000) és T-2-t (Kiessling és mtsai., 1984). Maga a lebontás képessége az egyes toxinok esetében eltérő lehet. A kérődzőkkel szemben, viszont a monogasztrikus fajok sokkal nagyobb fenyegetésnek vannak kitéve, mivel ők nem, vagy csak az emésztés későbbi szakaszában rendelkeznek a mikotoxinok közömbösítésére legalább részben képes mikroflórával, így a mikotoxinok nagyobb arányban szívódnak fel.

1.7 Vadfajok

A kutatás során az európai őzzel (*Capreolus capreolus*) és mezei nyúlal (*Lepus europaeus*) foglalkoztunk. A mezei nyúl a *Lepus spp.* legnagyobb európai képviselője, melynek testsúlya 3,5-5 kg. Legelőkön, cserjés és mezőgazdasági területek mentén élő növényevő monogasztrikus faj (Bock, 2020). Táplálékuk elsősorban fűfélékből (*Poaceae*), gyomokból (*Asteraceae*, *Brassicaceae*, *Fabaceae*, *Plantaginaceae*) és haszonnövényekből, mint például a zab (*Avena sativa*), búza (*Triticum vulgare*) vagy a rozs (*Secale cereale*) áll (Reichlin és mtsai., 2006). Jellemző rájuk a cökotrófia, mely során a lágy bélsarat (cökotrófot) visszafogyasztják, mivel a fermentációt a vakbélben végzik (Myers és mtsai., 1989), az ott keletkező mikrobiális fehérjéket és vitaminokat csak úgy tudják felszívni, ha az újra áthalad a bélcsatornán, melyből később az ürülék keletkezik (Hirakawa, 2001).

Az európai őz a Cervidae családba tartozó kérődző növényevő faj. Erdős-ligetes területeket, magas füves mezőket és a mezőgazdasági területeket kedveli (Sempéré és mtsai., 1996). A testtömege átlagos 20-30 kg közé tehető. A kérődzők esetében az emésztőrendszer kapacitása egyenesen arányos testmérettel, így a faj számára elengedhetetlen a relatíve magas minőségű táplálék fogyasztása (Demment & Van Soest, 1985). Táplálkozásának arányait tekintve számos növénytaxon képviselőit fogyasztja, de fontos megemlíteni, hogy ennek nagyjából a

kétszikű és a lágyszárú fajok alkotják (Sempéré és mtsai., 1996). Étrendjének nagyrészt fiatal levelek és erdeinövények teszik ki, azonban mezőgazdasági területen a táplálék-összetételében megjelennek a kultúrnövények is. Továbbá amennyiben elérhető az élőhelyén gyakran fogyaszt gyümölcsöket és terméseket egyaránt (Tixer & Duncan, 1996).

A mezei nyúl és európai őz fajoknak a hazai állományában az elmúlt évtizedekben folyamatos változás tapasztalható. Az európai őz állományában növekvő, még a mezei nyúl állományában csökkenő trendről beszélhetünk (Csányi és mtsai., 2024).

1.8 Klímaváltozás

A klímaváltozás, napjaink egyik legkomolyabb problémája, fontos szerepet játszik a penészgombák és a mikotoxinok által okozott problémák növekedésében. A mikotoxin termelést nagymértékben befolyásolják a környezeti faktorok. Főként a hőmérséklet, de a páratartalom, szárazság és a növényeket érő stressz mértéke is fontos szempont (Miraglia és mtsai., 2009). A hőmérséklet az egyes penészgomba típusok megtelepedésében és mikotoxin termelésében is szerepet játszik, mivel a különböző penészeknek eltérő az optima mind a megtelepedés, mind a mikotoxin termelés szempontjából (Miraglia és mtsai., 2009; Simpson és mtsai., 2004). Jelenlegi predikciók szerint a növekvő hőmérséklet alapján a mikotoxin szennyezettség, azon belül is az *Aspergillus flavus* és általa termelt aflatoxinok megjelenése egyre dominánsabb lesz (Zingales és mtsai. 2022; Battilani és mtsai., 2016; Paterson & Lima, 2011), viszont a *Fusarium spp.* tagjai azok tágtűrős jellege miatt továbbra is jelen lesznek (Zingales és mtsai., 2022; Panwar és mtsai., 2016). Összességében pedig a klímaváltozás miatt a globális mikotoxin szennyezettség és az általuk okozott károk folyamatos emelkedése egyre komolyabb problémát és kihívást fog jelenteni.

2. Célkitűzések

Az előzőekben áttekintett irodalmak alapján átfogó képet kaptunk arról, hogy a mikotoxinok számtalan módon hatnak a vesére, májra és testtömegre, viszont ezen kutatások mindegyike kontrollált körülmények között zajlott. Kutatásunk során két olyan fajjal dolgoztunk, melyekről alapvető ismereteink a mikotoxinok aspektusában minimálisak, főleg, ha figyelembe vesszük, hogy ezen egyedek mindegyike természetes élőhelyén élt. Az európai őz és mezei nyúl hasonló helyen élő fajok. Táplálékválasztásuk tekintetében, ugyan az európai őz sokkal jobban megválasztja táplálékát mivel a kérődző fajokhoz viszonyítva kisebb méretű gyomra és gyors emésztése van. A két faj által fogyasztott növényfajok esetében található átfedés lényeges, mivel táplálékválasztásnak fontos szerepe lehet a fajok hazai állományának változásában, ugyanis a mikotoxinok a penészgombákkal fertőződött táplálék útján jutnak be a szervezetükbe. Ugyan az elmúlt évtizedekben a két állomány eltérő irányú változása volt megfigyelhető, azonban az utóbbi években az európai őz állománya is csökkenésnek indult. A mikotoxinok klímaváltozás miatti egyre nagyobb megjelenésükkel a világon és így hazánkban szerepet vállalhatnak ebben az újonnan mutatkozó állománydinamikai változásban.

Konkrét célkitűzéseink a következők voltak:

- Az AFB1, ZEA, DON, FB1, T-2/HT-2 mikotoxinok okozta szennyezettség kimutatása mezőgazdasági területek mentén élő mezei nyúl és európai őz fajok veséjében.
- Az öt mikotoxin természetes körülmények között kifejtett hatásainak vizsgálata a fajok kondíciójára, elsősorban a mikotoxinok testtömegre, máj és vese tömegére gyakorolt hatására.
- A vesében kimutatott mikotoxin szennyezettség és a feltételezhető hatásukban tapasztalható különbségek összehasonlítása az európai őz és mezei nyúl között.

3. Anyag és módszer

3.1 Mintagyűjtés

A vizsgálatban felhasznált egyedeket a 2020-2021-es, valamint a 2021-2022-es őszi-téli vadászati idényben kerültek terítékre. A minták 7 vármegye területéről (Bács-Kiskun, Békés, Csongrád, Hajdú-Bihar, Heves, Pest, Szolnok) 18 településhez tartozó mezőgazdasági területről származnak. A vizsgált állatokat hivatásos vadászok ejtették el szokványos vadászati tevékenységük során, majd a kilövést követően közvetlenül a betanított szakemberek végezték el a méréseket. A mintagyűjtés során a vizsgált paraméterek, vagyis a testtömege, a máj és vese tömege került felvételre, amit követően a szervek közvetlen fagyasztása követett. A terepmunka során összesen 74 mezei nyúl nőstény, és 66 európai őz suta mintái kerültek begyűjtésre.

3.2 Mikotoxin koncentráció meghatározása

A laboratóriumi analízist a MATE Genetika és Biotechnológia Intézet, Állatbiotechnológia Tanszék, Dr. Szőke Zsuzsanna vezette Szaporodásbiológiai és Toxikológiai csoportja végezte. A mikotoxinok mérése mind a mezei nyúl mind az európai őz minták esetében a veséből történt. Korábbi eredmények alapján itt lehet legjobban kimutatni a mikotoxinokat. Az elemzések ELISA módszerrel történtek, amit a mérést megelőzően a mikotoxin metabolitokat immunoassay vizsgálat alapján optimalizálták az adott fajra és szervre. A mikotoxin szintek méréshez a mintákat felolvastották és 0,5 g szövetet homogenizáltak 0,5 ml jéghideg 50 mM-os nátrium-acetát pufferben (pH = 4,80). A homogenizálást FastPrep-24 Classic (MP Biomedicals, Irvine, CA) homogenizálóval végezték fémgyöngyökkel, és 3 órán át 37 °C-on inkubálták egy rázóasztalon a Helix pomatia β -glükuronidáz/aryl szulfatáz (Roche BGAL-RO) hozzáadásával, a gyártó utasításainak megfelelően. Az extrakciót 70% (v/v) metanol és víz (3:1 v/v) keverékével végezték, ezt követően orbitális rázógépen szobahőmérsékleten lettek rázogatva 15 percen át. Az extraktumokat centrifugálták (szobahőmérsékleten: 22-25°C, 5 perc, 8000× g), ezt követően a felülúszót összegyűjtötték és 0,01 M PBS-sel hígították (pH = 7,4). A hígítási mértéke 6-8 szoros volt toxintól függően. Ezt követően a ELISA kitek segítségével a gyártói utasítást követve történtek a mikotoxin szintek meghatározása.

A következő kiteket használták:

- Aflatoxin B1: Toxi-Watch (Soft Flow Ltd., Pécs, Hungary); LOD: 0,075 ng/g
- Zearalenon: ZEA Ridascreen (R-Biopharm, No.1401, Arnhem, The Netherlands); LOD: 0,075 ng/g
- Deoxynivalenol: Toxi-Watch (Soft Flow Ltd., Pécs, Hungary); LOD: 1,5 ng/g
- Fumonisin B1: EUROPXIMA Fumonisin (5121FUM) (R-Biopharm Netherlands BV, Arnhem, The Netherlands) LOD: 1,0 ng/g
- T-2/HT-2: Bio-Shield T-2/HT-2 (Prognosis Biotech, Larissa, Greece); LOD: 0,5 ng/g

Az eredmények validálása a kutatócsoport saját módszerével történt 10 vese mintából az 5 mikotoxinra (Szőke és mtsai., 2022). A fentiekben leírt módszert korábbi vizsgálatok során már alkalmazták (Lakatos és mtsai., 2024).

3.3 Statisztikai kiértékelés

A statisztikai elemzés során az adatsorok eloszlásának vizsgálata Shapiro-Wilk tesztel történt (Zar, 1999). A teszt eredményei alapján egyetlen esetben sem követ normális eloszlást az adatsorunk, ezért a továbbiakban nemparaméteres tesztekkel használtunk. A kétmintás összehasonlítások során Mann-Whitney U tesztet (MW teszt) használtunk (Zar, 1999). A mikotoxin koncentrációk és kondíciós mutatók (testtömeg, vese tömeg, máj tömeg) közötti feltételezett kapcsolat kimutatására Spearman-féle rangkorrelációs próbát alkalmaztunk (Zar, 1999). Az egyes mikotoxin minták esetében történő csoportok kialakítását a Jenks-féle Natural breaks tesztel végeztük el (Jenks, 1977). A teszt alkalmazása során minden esetben 2 csoportot hoztunk létre. A módszer lényege, hogy a csoporton belüli variancia a lehető legkisebb, a csoportok közötti variancia pedig a lehető legnagyobb legyen, mely az így kialakított csoportok között minden esetben meghatározott egy töréspontot az egyes fajok egyes mikotoxin értékeire. A statisztikai elemzéseket a Statsoft STATISTICA program (v. 8.0, StatSoft, Inc. 2007) és RStudio környezetben (v. 4.3.3, R Core Team 2024) végeztem. A RStudio programmal végzett munka során a következő packageek kerültek használatra: 'corrplot' (Wei és mtsai., 2017), 'ggplot2' (Wickham, 2006), 'ggsignif' (Ahlmann-Eltze & Patil, 2021), 'classInt' (Bivand és mtsai., 2015), 'RColorBrewer' (Neuwirth & Neuwirth, 2014). Minden statisztikai elemzés eredményét, ahol $p \leq 0,05$ volt, szignifikáns különbségként értelmeztünk (Sokal, 1995)

4. Eredmények

4.1 A mikotoxin mérések eredményei

Az európai őz egyedek esetében AFB1 94%-ban, a ZEA 90%-ban, a DON 79%-ban, az FB1 100%-ban a T-2/HT-2 toxin pedig 93%-ban volt kimutatható az egyedekben (Tábla 1.). A mezei nyúlban az AFB1 95%-ban, a ZEA 84%-ban, a DON 82%-ban, az FB1 99%-ban a T-2/HT-2 toxin pedig 96%-ban volt jelen a szervezetükben (Tábla 2.). Továbbá a minimum és maximum értékek tekintetében jól látható az egyedek közötti mikotoxin szennyezettségben tapasztalható eltérés (Tábla 1., Tábla 2.).

Mikotoxin	Egyedek száma	Medián	Minimum	Maximum	Mikotoxin szennyezettség nem kimutatható
AFB1	65	2,25	0	21,06	4
ZEA	60	1,75	0	8,25	6
DON	62	64,43	0	389,97	13
FB1	64	76,24	3,36	1734,6	0
T-2/HT-2	59	2,11	0	4,96	4

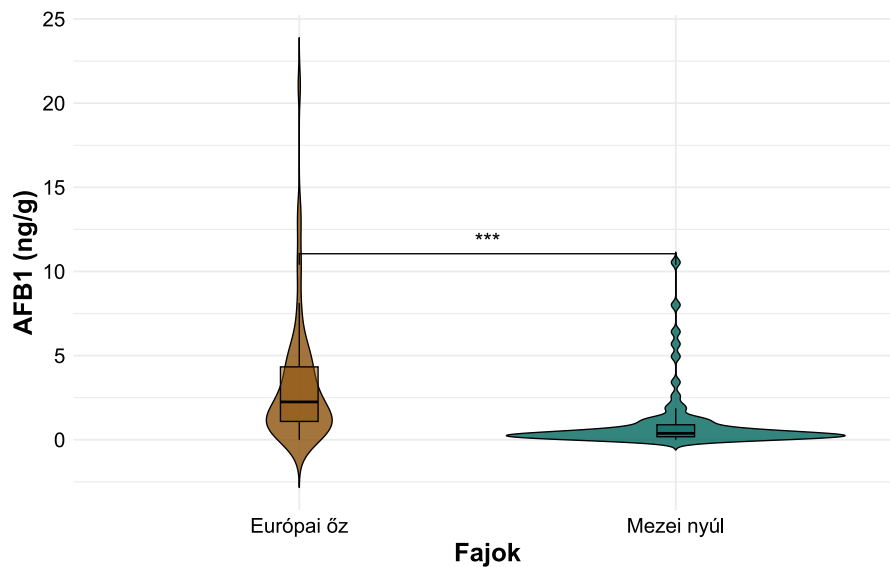
Tábla 1. A 2020-21 és 2021-22-es vadászati időszakok során összesen kilőtt európai őz egyedekben kimutatott AFB1, ZEA, DON, FB1, T-2/HT-2 mikotoxin koncentráció (ng/g) értékeinek mediánja, minimum és maximum értékei. Azon egyedek, akik szervezetében a mikotoxinok jelenléte a detektálási határ alatt volt az utolsó oszlopban vannak feltüntetve.

Mikotoxin	Egyedek száma	Medián	Minimum	Maximum	Mikotoxin szennyezettség nem kimutatható
AFB1	74	0,38	0	10,54	4
ZEA	73	1,84	0	11,32	12
DON	74	73,86	0	698,91	13
FB1	73	0,95	0	913,01	1
T-2/HT-2	74	2,83	0	6,426	3

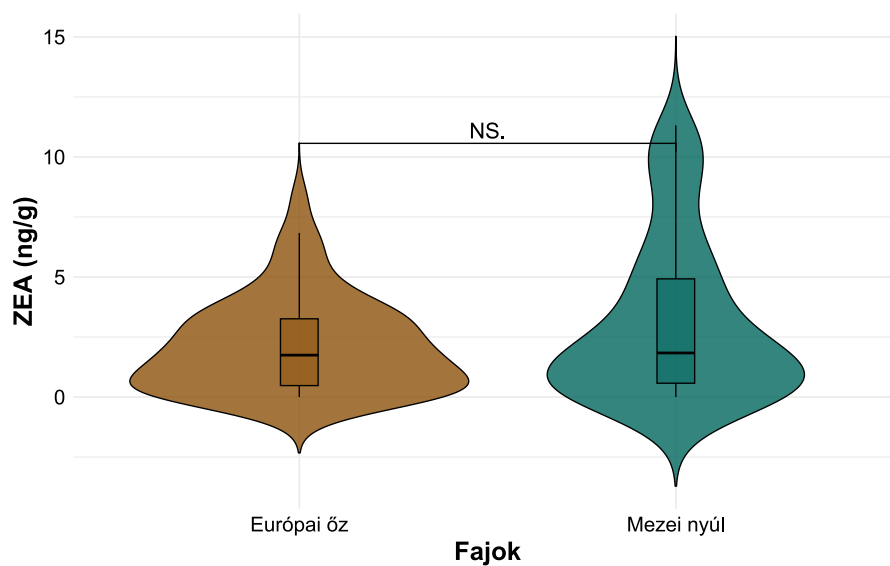
Tábla 2. A 2020-21 és 2021-22-es vadászati időszakok során összesen kilőtt mezei nyúl egyedekben kimutatott AFB1, ZEA, DON, FB1, T-2/HT-2 mikotoxin koncentráció (ng/g) értékeinek mediánja, minimum és maximum értékei. Azon egyedek, akik szervezetében a mikotoxinok jelenléte a detektálási határ alatt volt az utolsó oszlopban vannak feltüntetve.

4.2 A fajok közötti különbségek vizsgálata

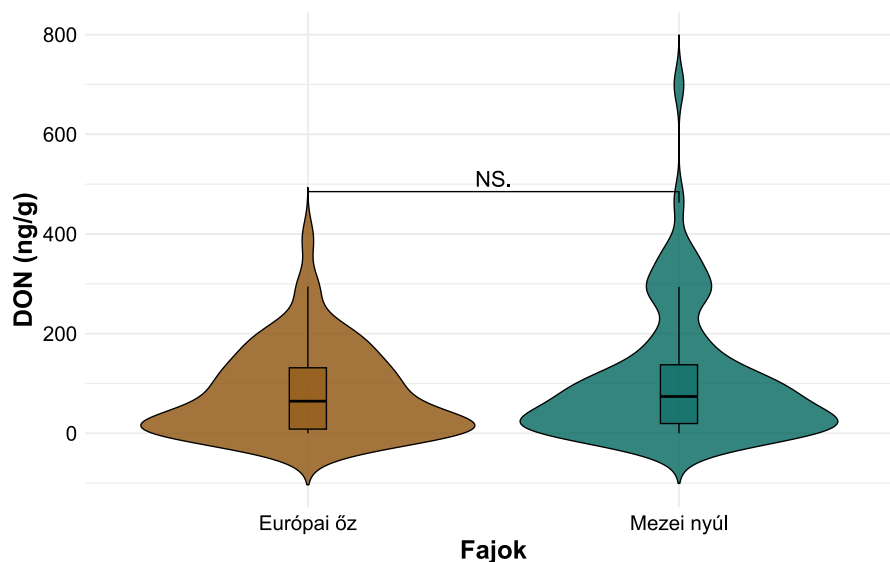
A két faj összehasonlító vizsgálata során az AFB1 (Ábra 1.), FB1 (Ábra 4.) és T-2/HT-2 (Ábra 5.) esetében szignifikáns különbséget találtunk az európai őz és mezei nyúl fajok koncentrációi között MW teszt használatával. A ZEA (Ábra 2.) és DON (Ábra 3.) esetében a kettő faj között nincsen szignifikáns eltérés.



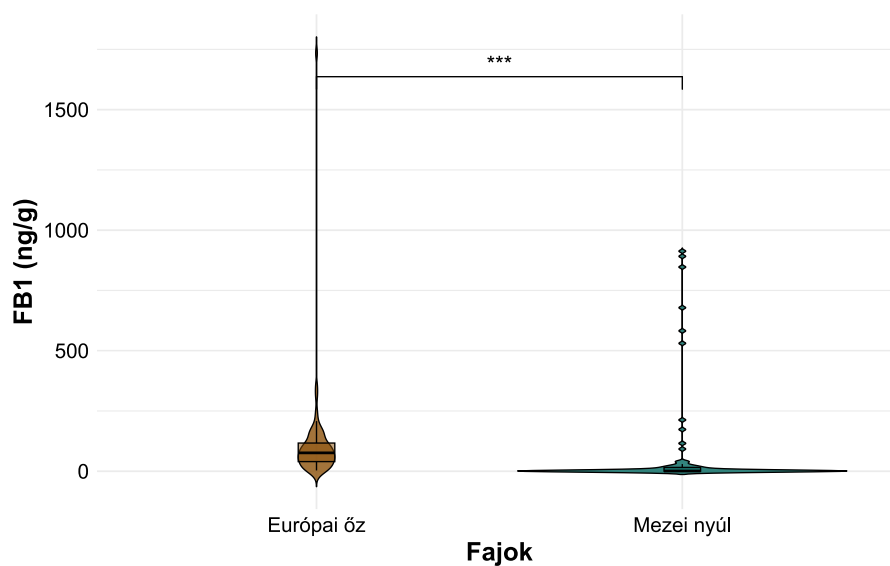
Ábra 1. Az európai őz és mezei nyúl AFB1 koncentrációinak eloszlásának ábrázolása hegedűábrán, melyen a medián, kvartilis és kiugró értékek mellett az egyes csoportok körvonalával az AFB1 egyedenkénti koncentrációinak ábrázolása, és így azok sűrűsége látható. Továbbá a 2 faj közötti MW teszt eredménye ($n_{\text{európai őz}} = 65$, $n_{\text{mezei nyúl}} = 74$, $p < 0,001$).



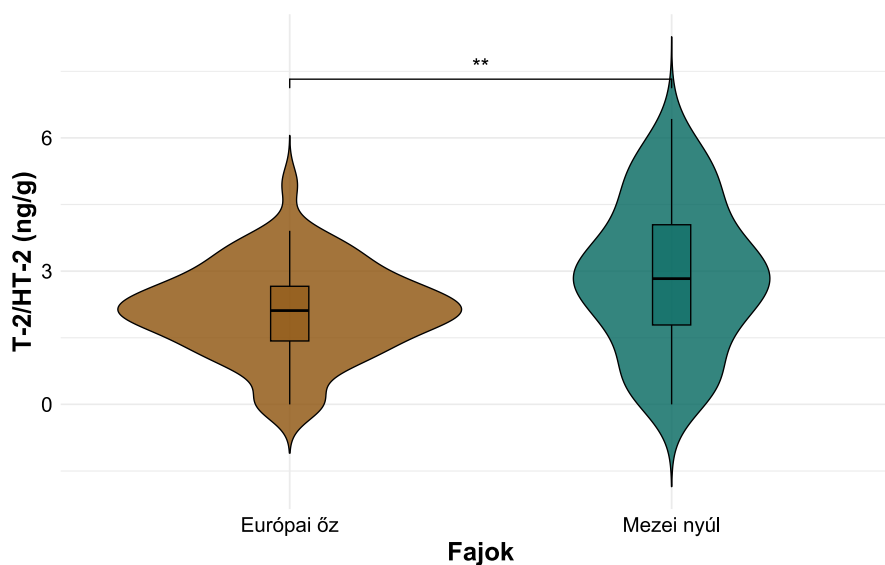
Ábra 2. Az európai őz és mezei nyúl ZEA koncentrációinak eloszlásának ábrázolása hegedűábrán, melyen a medián, kvartilis és kiugró értékek mellett az egyes csoportok körvonalával a ZEA egyedenkénti koncentrációinak ábrázolása, és így azok sűrűsége látható. Továbbá a 2 faj közötti MW teszt eredménye ($n_{\text{európai őz}} = 60$, $n_{\text{mezei nyúl}} = 73$, $p > 0,05$)



Ábra 3. Az európai őz és mezei nyúl DON koncentrációinak eloszlásának ábrázolása hegedűábrán, melyen a medián, kvartilis és kiugró értékek mellett az egyes csoportok körvonalával a DON egyedenkénti koncentrációinak ábrázolása, és így azok sűrűsége látható. Továbbá a 2 faj közötti MW teszt eredménye ($n_{\text{európai őz}} = 62$, $n_{\text{mezei nyúl}} = 74$, $p > 0,05$)



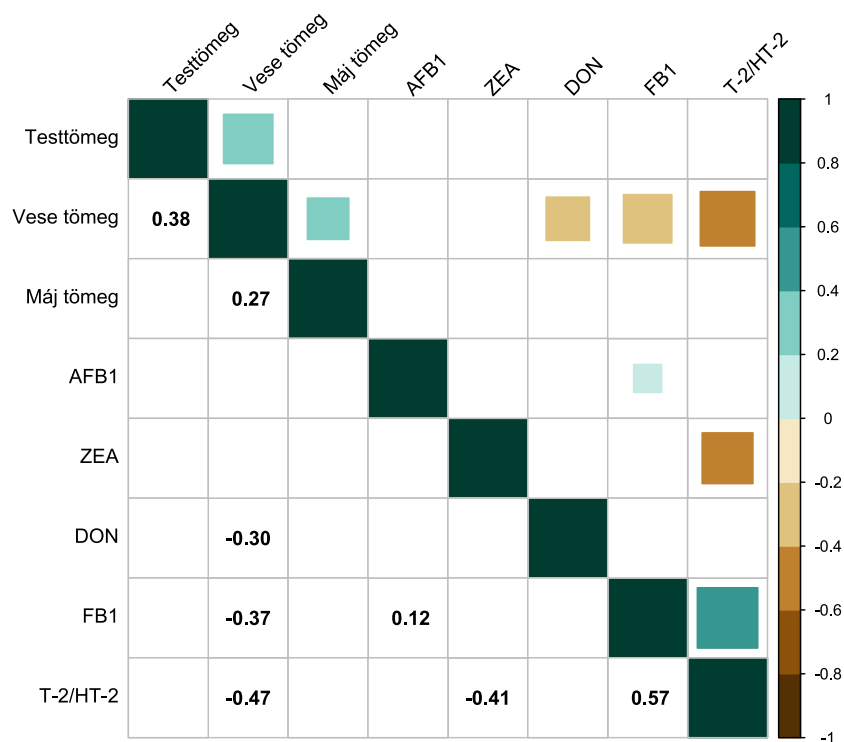
Ábra 4. Az európai őz és mezei nyúl FB1 koncentrációinak eloszlásának ábrázolása hegedűábrán, melyen a medián, kvartilis és kiugró értékek mellett az egyes csoportok körvonalával a FB1 egyedenkénti koncentrációinak ábrázolása, és így azok sűrűsége látható. Továbbá a 2 faj közötti MW teszt eredménye ($n_{\text{európai őz}} = 64$, $n_{\text{mezei nyúl}} = 73$, $p < 0,001$)



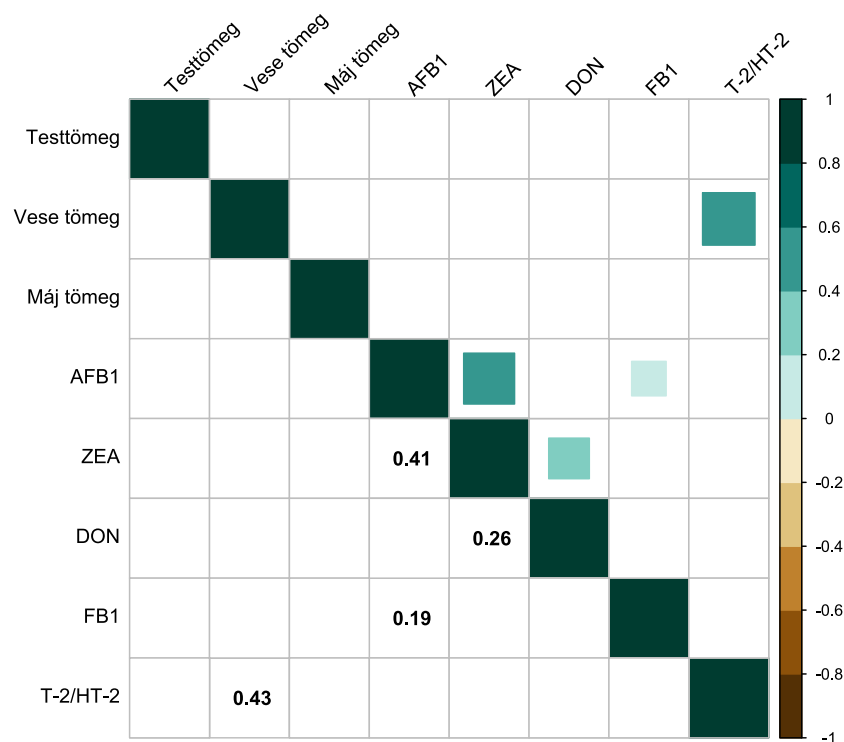
Ábra 5. Az európai őz és mezei nyúl T-2/HT-2 koncentrációinak eloszlásának ábrázolása hegedűábrán, melyen a medián, kvartilis és kiugró értékek mellett az egyes csoportok körvonalával a T-2/HT-2 egyedenkénti koncentrációinak ábrázolása, és így azok sűrűsége látható. Továbbá a 2 faj közötti MW teszt eredménye ($n_{\text{európai őz}} = 59$, $n_{\text{mezei nyúl}} = 74$, $p < 0,01$)

4.3 Az egyes mikotoxinok és kondíciós paraméterek közötti kapcsolat

Az öt mikotoxin és a különböző kondíciós mutatók, mint a testtömeg, vese és máj tömege, közötti kapcsolatot Spearman-féle rangkorrelációval vizsgáltuk. Az eredményeink alapján azt tapasztaljuk, hogy a mezei nyúl esetében a DON, FB1 és T-2/HT-2 mikotoxinok fejtenek ki szignifikáns negatív hatást a vese tömegére, viszont a máj tömege és testtömeg nem mutat semmilyen korrelációt az 5 mikotoxin között (Ábra 6.). Az európai őzben esetében is találtunk a vesében korrelációs kapcsolatot, viszont ott csak a T-2/HT-2 toxinnal, továbbá ezen faj esetében sem volt kimutatható korreláció a testtömeg, máj tömege és az egyes mikotoxinok között (Ábra 7.). Ezen felül a testtömeg és a vese tömege között szignifikáns kapcsolat van, mely a vese allometrikus, vagyis a testtömeggel arányosan növekedő jellege miatt tapasztalható, viszont ugyanez az allometrikus kapcsolat az európai őzben nem mutatható ki (Ábra 6., Ábra 7.).



Ábra 6. korrelációs mátrix a mezei nyúl kondíciós mutatói és az 5 mikotoxin között. A mátrix felső felében a Spearman-féle rangkorreláció korrelációs koefficienseinek értékét az egyes négyzetek nagysága és árnyalata, még a koefficiens irányát annak színe mutatja. A mátrix alsó felében a korrelációs koefficiens konkrét értéke szerepel. Csak olyan esetekben van feltüntetve a koefficiens amikor a kettő változó között szignifikáns kapcsolat van ($p < 0,05$).



Ábra 7. korrelációs mátrix az európai őz kondíciós mutatói és az 5 mikotoxin között. A mátrix felső felében a Spearman-féle rangkorreláció korrelációs koefficienseinek értékét az egyes négyzetek nagysága és árnyalata, még a koefficiens irányát annak színe mutatja. A mátrix alsó felében a korrelációs koefficiensek konkrét értéke szerepel. Csak olyan esetekben van feltüntetve a koefficiens amikor a kettő változó között szignifikáns kapcsolat van ($p < 0,05$).

4.4. Az egyedek csoportosítása a mikotoxin szennyezettségük alapján

A vizsgált egyedeket mikotoxin szennyezettsége alapján a Jenks-féle Natural breaks teszt segítségével csoportosítottuk. Az így kialakított töréspontok mentén az európai őznél a teljes adatsorból az AFB1 esetében az egyedek 11%-át, ZEA-nál 38%-át, DON-nál 34%-át, FB1-nél 26%-át és T-2/HT-2 toxinnál 53%-át kategorizálta a töréspont feletti magasabban mikotoxin szinttel rendelkezők csoportjába (Tábla 3.). A mezei nyúl esetében az AFB1-nél 8%-át, ZEA-nál 29%-át, DON-nál 20%-át, FB1-nél 10%-át és T-2/HT-2 toxinnál 49%-át kategorizálta a teljes mintának a töréspont felett elhelyezkedő csoportba (Tábla 4.).

Mikotoxinok	Első csoport elemszáma	Töréspont intervalluma	Második csoport elemszáma	GVF
AFB1	58	6,18<7,2	7	0,774
ZEA	37	2,33<2,44	23	0,76
DON	41	99,1<106,01	21	0,794
FB1	48	116<120	16	0,712
T-2/HT-2	28	2,02<2,06	31	0,672

Tábla 3. Az európai őz esetében a teszt által létrehozott első csoport tartalmazza azokat az egyedeket, melyek alacsonyabb mikotoxin szennyezettséggel rendelkeznek, a második csoport pedig a töréspont feletti egyedeket tartalmazza, melyek esetében az első csoporttól magasabb mikotoxin értékek tapasztalhatóak. A GVF (Goodness of variance fit) érték mutatja a teszt illesztésének jóságát.

Mikotoxinok	Első csoport elemszáma	Töréspont intervalluma	Második csoport elemszáma	GVF
AFB1	68	2,61<3,42	6	0,876
ZEA	52	4,26<4,48	21	0,778
DON	59	167,2<187,27	15	0,83
FB1	66	173,32<212,84	7	0,887
T-2/HT-2	38	2,83<2,88	36	0,681

Tábla 4. A mezei nyúl esetében a teszt által létrehozott első csoport tartalmazza azokat az egyedeket, melyek alacsonyabb mikotoxin szennyezettséggel rendelkeznek, a második csoport pedig a töréspont feletti egyedeket tartalmazza, melyek esetében az első csoporttól magasabb mikotoxin értékek tapasztalhatóak. A GVF (Goodness of variance fit) érték mutatja a teszt illesztésének jóságát.

4.5. A natural breaks teszt által kialakított csoportok összehasonlítása

Az eltérő mértékű szennyezettség hatásának vizsgálatához a korábban kialakított natural breaks csoportokat használtuk, hogy megvizsgálhassuk, hogy a magasabb és alacsonyabb koncentrációkkal rendelkező egyedek testtömegében, vese és máj tömegében van-e kimutatható eltérés. Az egyedeket és a hozzájuk tartozó kondíciós mutatókat úgy kategorizáltuk, hogy azok az aktuális vizsgált mikotoxin szinten alapuló natural breaks csoportba kerüljenek. A mezei nyúl esetén a máj tömegében a DON kivételével minden mikotoxinnál a magasabb és alacsonyabb mikotoxin értékkel rendelkező egyedek csoportjai között szignifikáns különbség van (Tábla 5.). Az AFB1, FB1 és T-2/HT-2 toxinoknál a töréspont feletti csoport máj tömege alacsonyabb, ZEA esetében magasabb, mint a határérték alatt elhelyezkedő csoporté (Tábla 6.). A vese tömegénél az AFB1 és ZEA 2 csoportja között van szignifikáns eltérés a mezei nyúlnál (Tábla 5.). Az AFB1-gyel jobban szennyezett egyedek veséjének tömege kisebb, a magasabb ZEA szinttel rendelkező egyedek vese tömege pedig nagyobb, mint az első csoporté (Tábla 6.). A mikotoxinok testtömegre gyakorolt hatása a mezei nyúlnál nem tapasztalható (Tábla 5.). Az európai őz csoportoknál a máj tömegénél a ZEA és DON esetében van szignifikáns különbség két csoport között (Tábla 7.), ahol azt tapasztaljuk, hogy mindkettő esetben a magasabb szennyezettség mellett a máj tömege is nagyobb (Tábla 8.). A mikotoxinok európai őz vesére gyakorolt hatása a csoportok között nem tapasztalható (Tábla 7.), a testtömeg esetén is csak a DON-nál mutatható ki szignifikáns eltérés a csoportok között (Tábla 7.), ahol a magasabb mikotoxin szint esetén alacsonyabb a testtömeg (Tábla 8.).

Mikotoxin	Testtömeg		Vese tömeg		Máj tömeg	
	U	Z	U	Z	U	Z
AFB1	193,5	n.s.	84,5	2,293 *	77	2,235 *
ZEA	491	n.s.	323,5	-2,393 *	283	-2,410*
DON	397,5	n.s.	377,5	n.s.	314	n.s.
FB1	147	n.s.	155,5	n.s.	84	2,074*
T-2/HT-2	581	n.s.	485,5	n.s.	315,5	2,591**

Tábla 5. Mezei nyúl mikotoxin szintjei alapján kialakított natural breaks csoportok MW teszt eredményei a testtömeg, máj és vese tömegek között (n.s. = nem szignifikáns, * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$).

Mikotoxin	Első csoport			Második csoport		
	Máj tömeg	Vese tömeg	Testtömeg	Máj tömeg	Vese tömeg	Testtömeg
AFB1	107,5	11,5	4,56	87	9	4,52
ZEA	104	11	4,55	112	12,5	4,55
DON	106	11	4,55	107,5	11	4,52
FB1	107,5	11	4,53	90	9	5,05
T-2/HT-2	112	12	4,57	102	11	4,5

Tábla 6. Mezei nyúl mikotoxin szintjei alapján kialakított natural breaks csoportok alapján a máj tömeg (g), vese tömeg (g) és testtömeg (kg) medián értékei.

Mikotoxin	Testtömeg		Vese tömeg		Máj tömeg	
	U	Z	U	Z	U	Z
AFB1	93	n.s.	141,5	n.s.	44	n.s.
ZEA	339	n.s.	304,5	n.s.	43,5	-2,084*
DON	204,5	-2,078*	388	n.s.	43	-2,221*
FB1	275,5	n.s.	303	n.s.	39,5	n.s.
T-2/HT-2	292,5	n.s.	337	n.s.	86,5	n.s.

Tábla 7. Európai őz mikotoxin szintjei alapján kialakított natural breaks csoportok MW teszt eredményei a testtömeg, máj és vese tömegek között (n.s. = nem szignifikáns, * $p < 0,05$).

Mikotoxin	Első csoport			Második csoport		
	Máj tömeg	Vese tömeg	Testtömeg	Máj tömeg	Vese tömeg	Testtömeg
AFB1	475	38	24,4	484,5	44	21,41
ZEA	441,5	38	24	514	40,5	24
DON	428	39	25	507	37,75	22,5
FB1	493	40	24	455	36,25	24
T-2/HT-2	498	39	24	469,5	38	23

Tábla 8. Európai őr mikotoxin szintjei alapján kialakított natural breaks csoportok alapján a máj tömeg (g), vese tömeg (g) és testtömeg (kg) medián értékei.

5. *Diszkusszió*

Eredményeim alapján megállapítható, hogy mind az európai őz, mind a mezei nyúl esetében magas százalékban mérhető a mikotoxinok szennyezettsége az egyedek veséjében. AFB1 esetén mért eredményeimből az látszik, hogy a 2020-22 közötti időszakban kilőtt természetes környezetben élő mezei nyúlban mérhető mikotoxin szennyezettség magasabb, mint a korábbi kutatási eredmények. Slamecka és mtsai. (2017) kutatásuk során mezei nyúl vesében kimutatott AFB1 szintjei ($0,41 \pm 0,038$ ng/g) hasonlóan Bukovjan és mtsai. (1992) által mért koncentrációkhoz ($0,658 \pm 0,6$ ng/g) viszonyítva átlagosan magasabb szennyezettséget találtunk (átlag = $1,00 \pm 1,83$ ng/g, medián = $0,38$ ng/g). Az európai őz esetében Bukovjan és mtsai. (1992) vesében mért AFB1 szintjeihez ($0,794 \pm 0,48$ ng/g) képest itt is magasabb értékeket mértünk (átlag = $3,23 \pm 3,71$ ng/g, medián = $2,25$ ng/g). A további négy mikotoxinra természetes környezetben élő mezei nyúlról és európai őzről nem találtunk korábbi eredményt, de az AFB1 általunk mért értékeit, az öt mikotoxin magas százaléku kimutathatóságát és a klímaváltozással kapcsolatos jelenlegi predikciókat (Zingales és mtsai., 2022) figyelembe véve vélhetőleg azok koncentrációjában is változás mehet végbe.

Az eredményeink alapján 2020-22-es vadászati időszakokban begyűjtött mezei nyúl és európai őz egyedek között szignifikánsan eltér az AFB1, FB1 és T-2/TH-2 toxin koncentrációja a vesében. Az AFB1 és FB1 az európai őzben, a T-2/HT-2 pedig a mezei nyúlban mutat nagyobb szennyezettséget. Ismert a bendő mikroflórájának szerepe a mikotoxinok lebontásában (Kuilman és mtsai., 1998; Ingalls és mtsai., 1996; Kiessling és mtsai., 1984; Caloni és mtsai., 2000). Ezek a kutatások többségében a haszonállatok, mint például a szarvasmarha, mutatták ki ezeket az összefüggéseket. A mi eredményeink az AFB1 és FB1 mezei nyúlénál magasabb átlagos koncentrációival, továbbá a ZEA és DON esetében látható eltérések hiányában az európai őz nem tükrözi a szakirodalomban leírtakat, mivel a mért koncentrációk azonosak, vagy akár jóval meghaladják a mezei nyúlban mért értékeket. Ennek hátterében a két faj táplálékválasztási szokásaiban látható eltérések (Reichlin és mtsai., 2006; Sempéré és mtsai., 1996), valamint az európai őz emésztésnek konkrét működése állhat. Az európai őz a többi kérődző fajhoz, főleg a jól kutatott haszonállatokhoz képest, jóval gyorsabb emésztéssel és kisebb bendőkapacitással rendelkezik (Sempéré és mtsai., 1996). Továbbá a bendő mikroflórája sem olyan sokrétű, mint más nagyobb testű kérődzőnek (Østbye és mtsai., 2016). Ezek az eltérések az európai őz magasabb mikotoxin szintjeire válaszul szolgálhatnak, esetlegesen az európai őz a nagyobb testű kérődzőkhöz képest érzékenyebb lehet mikotoxinok

okozta problémákra. A mikotoxinok szervekre gyakorolt hatására kimutatott különbségeket azonban a fentiek nem magyarázzák.

A rangkorreláció eredményei alapján az öt mikotoxin kondíciós paraméterekre gyakorolt hatását néhány esetben, elsősorban a mezei nyúlban sikerült csak kimutatnunk. A rangkorreláció mellett másik perspektívából is megvizsgáltuk az adatokat. A nagy egyedi eltérések miatt az adatok csoportosítását végeztük el a mikotoxin szintek alapján. Ezen eredményekből azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a 2020-22-es vadászati időszakok során elejtett egyedek szervezetében egységesen nem mutatható ki a mikotoxinok nagymértékű hatása, viszont a magasabb toxin szinttel rendelkező egyedek esetében a mikotoxinok ismert hatási mutakoznak meg az alacsonyabb koncentrációval rendelkező egyedekkel szemben. Figyelembe véve a mintáink kilövési idejét, az európai őz populáció utóbbi 1-2 évben látható állománycsökkenését (Csányi és mtsai., 2024) és a klímaváltozás mikotoxinok megjelenésére gyakorolt hatását (Zingales és mtsai., 2022), feltételezhető, hogy a mikotoxinok befolyással bírnak a hazai európai őz, mezei nyúl, és talán más állományokra is.

Ezen kettő elemzés eredményei további kérdéseket vetettek fel bennünk a kettő faj testtömegének és szerveik tömegének allometrikus kapcsolatában. Az allometria, vagyis a szervek arányosan változása a testtömeggel rokon fajok esetében ismert (Parra, 2012; Deltoro & Lopez, 1985). A Spearman-féle rangkorreláció során egyedül a vese és testtömeg közötti kapcsolat volt látható. A csoportok összehasonlítása során pedig azt tapasztaltuk, hogy azokban az esetekben, amikor a vese és máj tömege szignifikánsan eltért a kettő csoport között, a testtömeg esetében ez az eltérés nem volt tapasztalható. Ezáltal felmerül a kérdés, hogy az allometrián alapuló ismereteink napjainkban mennyire helytállóak.

A mikotoxinok hatásának csak a szervekben történő megjelenése, testtömegen nem kimutatható jellege miatt elmondhatjuk, hogy az európai őz és mezei nyúl az általunk mért szennyezettség mellett nem mutatja a mikotoxinok testtömegre gyakorolt ismert hatásait. Emiatt a vadgazdáknak nincsen lehetősége a mikotoxikózis felismerésére már azokban az egyedekben sem, akik szerveinek méreteiben mérhető hatásról beszélhetünk.

A mikotoxin szintek mentén történt csoportok kialakítása során a két csoport közötti töréspont is megállapításra került. Ezek az intervallumok az általunk vizsgált időszakban az európai őz és mezei nyúl egyedekre vonatkoztatva a mikotoxinok hatásának megjelenési tartományául szolgáltak. Ugyan ezekről az eredményekről nem mondható ki általánosan, hogy

határértékek volnának, de a későbbi kutatások során segíthetnek egyedi, fajspecifikus határértékek felállításában.

Az európai őz és mezei nyúlal végzet kutatásunk során sikeresen nagyobb betekintést nyerhettünk a mikotoxinok természetes környezetben kifejtett hatásának eddig minimálisan kutatott rétegéről. Az európai őzben és mezei nyúlban mért egyre gyakoribb és magasabb mikotoxin szintek miatt jogosan merül fel a kérdés, vajon más vadonélő fajokban a mikotoxinok milyen mértékben jelennek meg és milyen gondokat okoznak? Az eredményeink rávilágítanak arra, hogy a 'mikotoxin probléma' már nagyszázalékban jelen van a természetben, de jelenleg még rejtett, egyszerű megfigyelési módszerekkel nem észlelhető. A jelenlegi klímaváltozáson alapuló tendenciák nyomán viszont csak egyre komolyabb problémával kell majd szembenéznünk a jövőben.

6. Köszönetnyilvánítás

Köszönetemet szeretném kifejezni Témavezetőmnek és Társtémavezetőmnek Dr. Szemethy Lászlónak és Maurer Máténak, hogy lehetővé tették ezen munka megvalósulását.

Szeretném megköszönni Dr. Szőke Zsuzsanna kutatócsoportja munkásságát a mikotoxinok mennyiségi analízisében.

Továbbá szeretném megköszönni a PTE kutatásban résztvevő munkatársaink: Márkus Rita és Berta Balázs, valamint a vadgazdálkodók és hivatásos vadászok a mintagyűjtésben és feldolgozásban tanúsított segítségét.

Köszönöm az Országos Magyar Vadászkamara támogatását, ami lehetővé tette a kutatás megvalósulását.

7. Irodalomjegyzék

Ahlmann-Eltze, C., & Patil, I. (2021). ggsignif: R Package for Displaying Significance Brackets for 'ggplot2'.

Akbari, P., Braber, S., Gremmels, H., Koelink, P. J., Verheijden, K. A., Garssen, J., & Fink-Gremmels, J. (2014). Deoxynivalenol: a trigger for intestinal integrity breakdown. *The FASEB Journal*, 28(6), 2414-2429.

Angsubhakorn, S., Get-Ngern, P., Miyamoto, M., & Bhamarapavati, N. (1990). A single dose-response effect of aflatoxin B1 on rapid liver cancer induction in two strains of rats. *International journal of cancer*, 46(4), 664-668.

Azconaolivera, J. I., Ouyang, Y., Murtha, J., Chu, F. S., & Pestka, J. J. (1995). Induction of cytokine mRNAs in mice after oral exposure to the trichothecene vomitoxin (deoxynivalenol): relationship to toxin distribution and protein synthesis inhibition. *Toxicology and applied pharmacology*, 133(1), 109-120.

Battilani, P., Toscano, P., Van der Fels-Klerx, H. J., Moretti, A., Camardo Leggieri, M., Brera, C., ... & Robinson, T. (2016). Aflatoxin B1 contamination in maize in Europe increases due to climate change. *Scientific reports*, 6(1), 24328.

Bergsjø, B., Langseth, W., Nafstad, I., Jansen, J. H., & Larsen, H. J. S. (1993). The effects of naturally deoxynivalenol-contaminated oats on the clinical condition, blood parameters, performance and carcass composition of growing pigs. *Veterinary Research Communications*, 17, 283-294.

Bezuidenhout, S. C., Gelderblom, W. C., Gorst-Allman, C. P., Horak, R. M., Marasas, W. F., Spiteller, G., & Vleggaar, R. (1988). Structure elucidation of the fumonisins, mycotoxins

from *Fusarium moniliforme*. *Journal of the Chemical Society, Chemical Communications*, (11), 743-745.

Bivand, R., Ono, H., Dunlap, R., Stigler, M., & Bivand, M. R. (2015). Package 'classInt'. *Selected commonly used methods for choosing univariate class intervals for mapping or other graphics purposes*.

Blount, W. P. (1961). Turkey" X" disease. *J. Brit. Turkey Fed.*, 9, 52-54.

Bock, A. (2020). *Lepus europaeus* (Lagomorpha: Leporidae). *Mammalian Species*, 52(997), 125-142.

Bukovjan, K., Hallmannová, A., Karpenko, A., & Prošek, J. (1992). Erkennung von Aflatoxin B1 in den Geweben des freilebenden Wildes (*Lepus europaeus*, *Phasianus colchicus*, *Capreolus capreolus*, *Anas platyrhynchos*). *Journal of Veterinary Medicine, Series B*, 39(1-10), 695-708.

Caloni, F., Spotti, M., Auerbach, H., Op den Camp, H., Fink Gremmels, J., & Pompa, G. (2000). In vitro metabolism of fumonisin B1 by ruminal microflora. *Veterinary Research Communications*, 24, 379-387.

Cao, C., Xian, R., Lin, F., Li, X., Li, X., Qiang, F., & Li, X. (2022). Fumonisin B1 induces hepatotoxicity in mice through the activation of oxidative stress, apoptosis and fibrosis. *Chemosphere*, 296, 133910.

Chen, J., Wen, J., Tang, Y., Shi, J., Mu, G., Yan, R., ... & Long, M. (2021). Research progress on fumonisin B1 contamination and toxicity: A review. *Molecules*, 26(17), 5238.

Claeys, L., Romano, C., De Ruyck, K., Wilson, H., Fervers, B., Korenjak, M., ... & Huybrechts, I. (2020). Mycotoxin exposure and human cancer risk: A systematic review of epidemiological studies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(4), 1449-1464.

Čonková, E., Laciaková, A., Pástorová, B., Seidel, H., & Kováč, G. (2001). The effect of zearalenone on some enzymatic parameters in rabbits. *Toxicology Letters*, 121(3), 145-149.

Csányi S., Márton M., Bóti Sz. és Schally G. 2024. Vadgazdálkodási Adattár - 2023/2024. vadászati év. MATE VTI, Országos Vadgazdálkodási Adattár, Gödöllő, 70 pp.

Deltoro, J., & Lopez, A. M. (1985). Allometric changes during growth in rabbits. *The Journal of Agricultural Science*, 105(2), 339-346.

Demment, M. W., & Van Soest, P. J. (1985). A nutritional explanation for body-size patterns of ruminant and nonruminant herbivores. *The American Naturalist*, 125(5), 641-672.

EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). (2011). Scientific Opinion on the risks for animal and public health related to the presence of T-2 and HT-2 toxin in food and feed. *EFSA Journal*, 9(12), 2481.

Fung, F., & Clark, R. F. (2004). Health effects of mycotoxins: a toxicological overview. *Journal of Toxicology: Clinical Toxicology*, 42(2), 217-234.

Gumprecht, L. A., Marcucci, A., Weigel, R. M., Vesonder, R. F., Riley, R. T., Showker, J. L., ... & Haschek, W. M. (1995). Effects of intravenous fumonisin B1 in rabbits: Nephrotoxicity and sphingolipid alterations. *Natural Toxins*, 3(5), 395-403.

Hirakawa, H. (2001). Coprophagy in leporids and other mammalian herbivores. *Mammal review*, 31(1), 61-80.

Hueza, I. M., Raspantini, P. C. F., Raspantini, L. E. R., Latorre, A. O., & Górnaiak, S. L. (2014). Zearalenone, an estrogenic mycotoxin, is an immunotoxic compound. *Toxins*, 6(3), 1080-1095.

Ingalls, J. R. (1996). Influence of deoxynivalenol on feed consumption by dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 60(3-4), 297-300.

Jenks, G. F. (1977). Optimal data classification for choropleth maps. *Department of Geography, University of Kansas Occasional Paper*.

Jiang, S. Z., Yang, Z. B., Yang, W. R., Gao, J., Liu, F. X., Broomhead, J., & Chi, F. (2011). Effects of purified zearalenone on growth performance, organ size, serum metabolites, and oxidative stress in postweaning gilts. *Journal of animal science*, 89(10), 3008-3015.

Kang, R., Perveen, A., & Li, C. (2020). Effects of maternal T-2 toxin exposure on the hepatic glycolipid metabolism in young mice. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 196, 110530.

Kiessling, K. H., Pettersson, H., Sandholm, K., & Olsen, M. O. N. I. C. A. (1984). Metabolism of aflatoxin, ochratoxin, zearalenone, and three trichothecenes by intact rumen fluid, rumen protozoa, and rumen bacteria. *Applied and environmental microbiology*, 47(5), 1070-1073.

Kuilman, M. E., Maas, R. F., Judah, D. J., & Fink-Gremmels, J. (1998). Bovine hepatic metabolism of aflatoxin B1. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(7), 2707-2713.

Kuiper-Goodman, T., Scott, P., & Watanabe, H. (1987). Risk assessment of the mycotoxin zearalenone. *Regulatory toxicology and pharmacology*, 7(3), 253-306.

Lakatos, I., Babarczy, B., Molnár, Z., Tóth, A., Skoda, G., Horváth, G. F., ... & Szőke, Z. (2024). First Results on the Presence of Mycotoxins in the Liver of Pregnant Fallow Deer (*Dama dama*) Hinds and Fetuses. *Animals*, 14(7), 1039.

Li, F., Yuan, X., Huang, L., Liu, Q., Chen, W., & Wang, C. (2022). Effects of deoxynivalenol on the histomorphology of the liver and kidneys and the expression of MAPKs in weaned rabbits. *World Mycotoxin Journal*, 15(4), 393-406.

Liu, Y., Dong, R., Yang, Y., Xie, H., Huang, Y., Chen, X., ... & Zhang, Z. (2021). Protective effect of organic selenium on oxidative damage and inflammatory reaction of rabbit kidney induced by T-2 toxin. *Biological trace element research*, 199, 1833-1842.

Maaroufi, K., Chekir, L., Creppy, E. E., Ellouz, F., & Bacha, H. (1996). Zearalenone induces modifications of haematological and biochemical parameters in rats. *Toxicon*, 34(5), 535-540.

Mathur, S., Constable, P. D., Eppley, R. M., Waggoner, A. L., Tumbleson, M. E., & Haschek, W. M. (2001). Fumonisin B1 is hepatotoxic and nephrotoxic in milk-fed calves. *Toxicological Sciences*, 60(2), 385-396.

Miraglia, M., Marvin, H. J. P., Kleter, G. A., Battilani, P., Brera, C., Coni, E., ... & Vespermann, A. (2009). Climate change and food safety: an emerging issue with special focus on Europe. *Food and chemical toxicology*, 47(5), 1009-1021.

Myers, K., Parer, I., & Richardson, B. J. (1989). Leporidae. *Fauna of Australia*, 1, 917-931.

Nayakwadi, S., Ramu, R., Kumar Sharma, A., Kumar Gupta, V., Rajukumar, K., Kumar, V., ... & Basalingappa, K. M. (2020). Toxicopathological studies on the effects of T-2 mycotoxin and their interaction in juvenile goats. *PloS one*, 15(3), e0229463.

Neuwirth, E., & Neuwirth, M. E. (2014). Package ‘RColorBrewer’. *ColorBrewer palettes*, 991.

Østbye, K., Wilson, R., & Rudi, K. (2016). Rumen microbiota for wild boreal cervids living in the same habitat. *FEMS Microbiology Letters*, 363(20), fnw233.

Panwar, V., Aggarwal, A., Paul, S., Singh, V., Singh, P. K., Sharma, D., & Saharan, M. S. (2016). Effect of temperature and pH on the growth of *Fusarium* spp. causing *Fusarium* head blight (FHB) in wheat. *South Asian Journal of Experimental Biology*, 6(5).

Parra, C. A. (2012). Body weight and age influences on liver weight in White-tailed deer (*Odocoileus virginianus*): Implications for reproductive effort.

Paterson, R. R. M., & Lima, N. (2011). Further mycotoxin effects from climate change. *Food Research International*, 44(9), 2555-2566.

Pickova, D., Ostry, V., Toman, J., & Malir, F. (2021). Aflatoxins: History, significant milestones, recent data on their toxicity and ways to mitigation. *Toxins*, 13(6), 399.

Popescu, R. G., Rădulescu, A. L., Georgescu, S. E., & Dinischiotu, A. (2022). Aflatoxins in feed: types, metabolism, health consequences in swine and mitigation strategies. *Toxins*, 14(12), 853.

Prelusky, D. B., Gerdes, R. G., Underhill, K. L., Rotter, B. A., Jui, P. Y., & Trenholm, H. L. (1994). Effects of low-level dietary deoxynivalenol on haematological and clinical parameters of the pig. *Natural Toxins*, 2(3), 97-104.

Quist, C. F., Howerth, E. W., Fischer, J. R., Wyatt, R. D., Miller, D. M., & Nettles, V. F. (1997). Evaluation of low-level aflatoxin in the diet of white-tailed deer. *Journal of wildlife diseases*, 33(1), 112-121.

R Core Team (2024). *_R: A Language and Environment for Statistical Computing_*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <<https://www.R-project.org/>>.

Reichlin, T., Klansek, E., & Hackländer, K. (2006). Diet selection by hares (*Lepus europaeus*) in arable land and its implications for habitat management. *European journal of wildlife research*, 52, 109-118.

Rodricks, J. V. (1969). Fungal metabolites which contain substituted 7, 8-dihydrofuro [2, 3-b] furans (DHFF) and 2, 3, 7, 8-tetrahydrofuro [2, 3-b] furans (THFF). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 17(3), 457-461.

Sempéré, A. J., Sokolov, V. E., & Danilkin, A. A. (1996). *Capreolus capreolus*. *Mammalian species*, (538), 1-9.

Simpson, D. R., Thomsett, M. A., & Nicholson, P. (2004). Competitive interactions between *Microdochium nivale* var. *majus*, *M. nivale* var. *nivale* and *Fusarium culmorum* in planta and in vitro. *Environmental Microbiology*, 6(1), 79-87.

Slamecka, J., Capcarova, M., Jurcik, R., Sladeczek, T., Argente, M. J. C., Gren, A., & Massanyi, P. (2017). Seasonal, age and sex fluctuations in aflatoxin B1 content in the liver and kidney of brown hares (*Lepus europaeus* Pall). *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 52(5), 466-470.

Sokal, R. R. (1995). The principles and practice of statistics in biological research. *Biometry*, 451-554.

StatSoft, Inc. (2007). STATISTICA (data analysis software system), version 8.0. .

Sun, Y., Dong, G., Guangxin, E., Liao, M., Tao, L., & Lv, J. (2018). The effects of low levels of aflatoxin B1 on health, growth performance and reproductivity in male rabbits. *World Rabbit Science*, 26(2), 123-133.

Szabó, A., Szabó-Fodor, J., Kachlek, M., Mézes, M., Balogh, K., Glávits, R., ... & Kovács, M. (2018). Dose and exposure time-dependent renal and hepatic effects of intraperitoneally administered fumonisin B1 in rats. *Toxins*, 10(11), 465.

Szőke, Z., Babarczi, B., Mézes, M., Lakatos, I., Poór, M., Fliszár-Nyúl, E., ... & Ferenczi, S. (2022). Analysis and comparison of rapid methods for the determination of ochratoxin a levels in organs and body fluids obtained from exposed mice. *Toxins*, 14(9), 634.

Tixier, H., & Duncan, P. (1996). Are European roe deer browsers? A review of variations in the composition of their diets. *Revue D'écologie*, 51(1), 3-17.

Urry, W. H., Wehrmeister, H. L., Hodge, E. B., & Hidy, P. H. (1966). The structure of zearalenone. *Tetrahedron Letters*, 7(27), 3109-3114.

Wei, T., Simko, V., Levy, M., Xie, Y., Jin, Y., & Zemla, J. (2017). Package ‘corrplot’. *Statistician*, 56(316), e24.

Wickham, H. (2006). An introduction to ggplot: An implementation of the grammar of graphics in R. *Statistics*, 1.

Wogan, G. N., Paglialunga, S., & Newberne, P. M. (1974). Carcinogenic effects of low dietary levels of aflatoxin B1 in rats. *Food and cosmetics toxicology*, 12(5-6), 681-685.

World Health Organization. (1990). Selected mycotoxins: ochratoxins, trichothecenes, ergot. World Health Organization.

Zar, J. H. (1999). *Biostatistical analysis*. Pearson Education India.

Zhang, X., Wang, Y., Yang, X., Liu, M., Huang, W., Zhang, J., ... & Li, Y. (2021). The nephrotoxicity of T-2 toxin in mice caused by oxidative stress-mediated apoptosis is related to Nrf2 pathway. *Food and Chemical Toxicology*, 149, 112027.

Zingales, V., Taroncher, M., Martino, P. A., Ruiz, M. J., & Caloni, F. (2022). Climate change and effects on molds and mycotoxins. *Toxins*, 14(7), 445.

8. Rövidítések jegyzéke

AFB1	Aflatoxin B1
ZEA	Zearalenon
DON	deoxinivalenol
FB1	Fumonizin B1
IARC	Nemzetközi Rákkutató Ügynökség
MW teszt	Mann-Whitney U teszt