

Állategészség és humán veszélyek

Antimikrobiális rezisztencia, zoonózisok, mikotoxinok

Csivincsik Ágnes¹, Bawan Mustafa Abdalrahman^{1,2}, Kimba Duncan Ombula^{1,2},
Kovács Melinda^{1,3*}, Nagy Gábor¹

¹Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Élettani és Takarmányozástani Intézet,

Élettani és Állategészségügyi Tanszék, One Health Munkacsoport, Kaposvár, Magyarország

²Állattenyésztési Tudományok Doktori Iskola, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Kaposvár, Magyarország

³HUN-REN-MATE Mikotoxinok az Élelmiszerláncban Kutatócsoport, Kaposvár, Magyarország

*Levelező szerző, e-mail: kovacs.melinda@uni-mate.hu

Beérkezett: 2025. április 27.; elfogadva: 2025. június 4.

Összefoglalás

Ebben a tanulmányban a rektorhelyettes Németh Tamásra emlékezünk, aki 2014 és 2018 között négy évig volt a Kaposvári Egyetem tudományos vezetője. Emlékére a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Kaposvári Campusán működő One Health Munkacsoport munkáján és eredményein keresztül mutatjuk be az állategészségügy néhány releváns problémáját, úgymint a Dél-Dunántúl régió természetes élőhelyein élő ragadozók, a vadállomány által használt felszíni vizek és a vidéki környezetben élő házi kutyák szerepe az antimikrobiális rezisztencia terjedésében; a vadállományban előforduló egyes parazitás zoonózisok okozta emberi és állati fertőzések járványtani háttere; valamint a lakosság mikotoxin-expozíciójának becslése.

Kulcsszavak: Egy Egység, antimikrobiális rezisztencia, zoonózisok, mikotoxinok, ökoszisztéma

Animal health and human risks

Antimicrobial resistance, zoonoses and mycotoxins

Ágnes Csivincsik¹, Abdalrahman, Bawan Mustafa^{1,2}, Ombula, Kimba Duncan^{1,2},
Melinda Kovács^{1,3}, Gábor Nagy¹

¹Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Institute of Animal Physiology and Nutrition,

Department Animal Physiology and Health, One Health Research Group, Kaposvár, Hungary

²Doctoral School of Animal Science, Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Kaposvár, Hungary

³HUN-REN-MATE Mycotoxins in the Food Chain Research Group, Kaposvár, Hungary

Summary

In this paper, we remember Vice-Rector Tamás Németh, who served as the scientific leader of Kaposvár University for four years, between 2014 and 2018. In his memory, we present some relevant issues in veterinary medicine through the work and achievements of the One Health working group operating at the Kaposvár Campus of the Hungarian University of Agriculture and Life Sciences. These issues impact the balance of the entire ecosystem and pose significant risks to food safety and human health.

One of the main focus areas of One Health-oriented research is the study of the spread of antimicrobial resistance (AMR). The spatial distribution of AMR in ecosystems, along with the biotic and abiotic environmental factors of habitat patches showing accumulation, reveals the role that the natural health domain may play in the maintenance and dissemination of AMR. The research group has demonstrated that *Staphylococcus* bacteria are suitable indicators for monitoring AMR in the natural health domain. In the South Transdanubian Region, *Staphylococcus* strains with significant species diversity and varied resistance profiles were isolated.

The development of the One Health approach is fundamentally linked to the study of zoonoses, which are infectious diseases transmitted from animals to humans. Since 2016, the aim of the research group has been to identify

the risk factors of human alveolar echinococcosis (HAE), a disease caused by the tapeworm *Echinococcus multilocularis*. Epidemiological analysis of human cases has revealed that HAE clusters in two hyperendemic regions in Hungary: Northern Hungary and Southern Transdanubia. It has been confirmed that in the endemic presence of the parasite in Southern Transdanubia, the region's dense golden jackal population and the soil moisture content play a crucial role. The co-occurrence of the parasite's two primary reservoir hosts – the red fox and the golden jackal – within the same habitat amplifies the endemic situation. Through geospatial analysis of national data, it was shown that the economic underdevelopment of affected areas increases the risk of human infection.

Mold toxins (mycotoxins) are present throughout the entire food production chain. Their levels are influenced by numerous biological, environmental, technological, and human factors. Unfortunately, their presence is currently unavoidable, causing significant economic losses and posing risks to humans and animals, as well as food safety and security. The research group investigated the exposure of the Hungarian population to fumonisin mycotoxins based on food contamination data, food consumption patterns, and urinary biomarkers. They demonstrated that Hungarian consumers are exposed to levels similar to those in other European countries and emphasized the importance of regular monitoring and assessment based on harmonized methodology.

Keywords: One Health, antimicrobial resistance, zoonoses, mycotoxicoses, ecosystem

Bevezetés

Ebben a tanulmányban a rektorhelyettes Németh Tamásra emlékezünk, aki 2014 és 2018 között négy évig volt a Kaposvári Egyetem tudományos vezetője. Ez idő alatt aktívan részt vett az egyetem tudományos életében, de az ezt megelőző, majd követő időszakban is szoros kapcsolatot ápolt az egyetemmel, és mindig támogatta annak munkáját. Egyetemi tanárként több oktatási és tudományos szerepkört is betöltött. Emlékére az egyetem jogutódja, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Kaposvári Campusán működő One Health Munkacsoport munkáján és eredményein keresztül mutatjuk be az állategészségügy néhány releváns problémáját, amelyek az ökoszisztéma egészének egyensúlyára kihatnak, és jelentős élelmiszer-biztonsági, illetve humán egészségügyi kockázatot jelentenek.

Az antibakteriális rezisztencia az Egy Egészség természeti doménjében

Az Egy Egészség (One Health) szemléletmódú kutatások egyik legfontosabb fókuszterülete napjainkban az antimikrobiális rezisztencia (AMR) terjedésének vizsgálata. A baktériumok antibiotikumokkal szembeni ellenálló képessége természetes körülmények között, spontán, a baktériumok örökítőanyagának megváltozása, mutációk révén is megjelenik a baktériumpopulációkban. De ezek a gének csak abban az esetben válhatnak sikeressé, ha a baktérium olyan közegben él, amelyben a megváltozott gén evolúciós előnyt biztosít számára (Collignon–McEwen 2019).

Az emberi környezetben az antibakteriális anyagok kiterjedt közegészségügyi és állatgyógyászati használata erős szelekciós nyomást gyakorol a baktériumközösségekre, sikeressé téve azokat a genotípusokat, amelyek antimikrobiális rezisztenciát kódoló génekkel rendelkeznek. Ennek eredményeként napjainkban már számos multirezisztens baktériumtörzs nehezíti a gyógyító beavatkozásokat mind a humán, mind pedig az állatgyó-

gyászat területén. Az AMR világszerte egyre súlyosabb egészségügyi válsághelyzeteket teremtő terjedése miatt az Egészségügyi Világszervezet (WHO) 2015-ben közölte az antimikrobiális rezisztencia elleni akciótervét, illetve nemzetközi megfigyelési rendszert alakított ki (GLASS: Global Antimicrobial Resistance Surveillance System) az AMR okozta kockázatok nyomon követésére (Velazquez-Meza et al. 2022).

A közegészségügyi intézményekben vagy az állattartó telepeken kiszéleltélődő rezisztens baktériumtörzsek, illetve azok rezisztenciagénjei a kórházak szennyvizével vagy az állattartó telepeken képződő trágyával bekerülhetnek a víz körforgásába, és ezáltal mindhárom egészségdoménben megjelenhetnek. Az AMR terjedéséhez nem csupán az élő baktériumok képesek hozzájárulni, hanem pusztulásuk után a környezetbe kerülő örökítőanyaguk is. Ez az extracellulárisan található genetikai anyag a többi baktérium számára könnyen hozzáférhetően, sokáig perzisztálhat a környezetben, hozzájárulva a talaj vagy a felszíni vizek rezisztórához (a rezisztenciát kódoló génállományhoz). Bekerülhetnek az ivóvízellátó rendszerbe, ahol felhalmozódva közegészségügyi kockázatot jelenthetnek (Collignon–McEwen 2019; Franklin et al. 2021).

A vizek közvetítette AMR tanulmányozása nem nélkülözheti azt a multidiszciplináris megközelítést, amely az Egy Egészség szemléletmódot jellemzi. Az ilyen vizsgálatok során az AMR-t hordozó baktériumok vagy az AMR-t kódoló gének kimutatásával lehet felmérni az egyes egészségdoménekben halmozódó kockázatokat. Az ökoszisztémában előforduló AMR térbeli eloszlása, a halmozódást mutató élőhelyfoltok biotikus és abiotikus környezeti tényezői azok az adatok, amelyek elemzésével közelebb juthatunk annak megértéséhez, hogy a természeti egészségdomén milyen szerepet játszhat az AMR fenntartásában és terjesztésében (Collignon–McEwen 2019; Velazquez-Meza et al. 2022).

Az ökoszisztémában előforduló AMR klasszikus bakteriológiai vizsgálata során általában modellbaktérium-taxonokra alapozzák a kutatást. A *Staphylococcus* genus

tagjai jó modellbaktériumok az AMR One Health szemléletű kutatásában. A nemzetség fajai szinte mindenhol megtalálhatók, és sótűrűségük miatt könnyen izolálhatók. Ugyanakkor a nemzetséghez kapcsolódik az egyik legrégebben azonosított, legismertebb antibiotikum-rezisztencia, a meticillin-rezisztens *Staphylococcus aureus* (MRSA) előfordulása (Collignon–McEwen 2019; Franklin et al. 2021).

A természetes élőhelyeken felhalmozódó biológiai szennyeződések tanulmányozása során azokra a potenciális gazdafajokra érdemes összpontosítani, amelyek a táplálékhálózatok csúcsán helyezkednek el, így képesek akumulálni az alacsonyabb táplálkozási szinteken megjelenő fertőzéseket, viszonylag gyorsan reagálnak a környezet változásaira, és kellően nagy populációkkal rendelkeznek, hogy reprezentatív minta legyen gyűjthető belőlük. Az európai ökoszisztémában ezt az úgynevezett szentinel szerepet a kis és közepes testű ragadozók képesek betölteni. Ilyen lehet például a vörös róka (Habaj-Siembida et al. 2024), az aranykakas (Lapid et al. 2023) vagy a házi kutya (Afshar et al. 2023), amely fajok esetében igazolható, hogy a *Staphylococcus* nemzetségbe tartozó baktériumok a klinikailag egészséges egyedekből is kimutathatók.

A MATE Kaposvári Campus One Health Munkacsoportja által végzett AMR-kutatás a Dél-Dunántúl régió természetes élőhelyein élő ragadozók, a vadállomány által használt felszíni vizek és a vidéki környezetben élő házi kutyák szerepét vizsgálja az AMR terjedésében. Eddigi eredményeink alapján kijelenthető, hogy a *Staphylococcus* nemzetségbe tartozó baktériumok magas prevalenciával és jelentős faji diverzitással találhatók meg mind a természeti környezetből, mind a településeken élő kutyákból származó mintákban. Az erdei, állóvízű víznyerő helyek és a Dráva folyó baktériumközösségeinek összehasonlítására irányuló vizsgálatunk azt mutatta, hogy a folyó *Staphylococcus*-közössége diverzebb, azonban az apró erdei pocsolyákból izolált baktériumok sokkal több antimikrobiális szerrel szemben rezisztensek (Kovács et al. 2024). A vidéki kutyák „híd gazda” szerepét vizsgálva azt találtuk, hogy az állatok több olyan, koaguláz negatív *Staphylococcus* fajt hordoztak, amelyek legalább három hatóanyagcsoporttal szemben rezisztenciát mutattak, tehát multirezisztenciával rendelkeztek (Baráth et al. 2024). Előzetes eredményeink bizonyították, hogy a *Staphylococcus* nemzetségbe tartozó baktériumok alkalmasak a természeti egészségházban előforduló AMR megfigyelésére, mert a Dél-Dunántúl régióban jelentős fajgazdagsággal és változatos rezisztenciával rendelkező *staphylococcus*okat tudtunk izolálni. Jövőbeni kutatásaink célja, hogy az izolátumok származási helyének térinformatikai elemzésével, a mikroepidemiológia vizsgálati módszereivel azonosítani tudjuk azokat a lokálisan ható kockázati tényezőket, amelyek felerősíthetik a kutyák „híd gazda” szerepét.

A zoonotikus betegségek One Health szemléletű kutatása

A One Health szemléletmód kialakulása alapvetően a zoonózisok, az állatról emberre terjedő fertőző és parazitás bántalmak tanulmányozásához kapcsolódik (Velazquez-Meza et al. 2022). A múlt század második felében született meg az az elképzelés, hogy a zoonózisok ellen az orvosok és az állatorvosok egymással együttműködve, közös missziók keretében lépjenek fel. A betegségek komplexebb elemzésének igénye csak később, az ezredforduló éveiben alakult ki. Ekkor jelent meg a világban a súlyos heveny légzőszervi tünetegyüttest (SARS) okozó koronavírus. A SARS-járvány hátterében a kutatók a természeti környezet szélsőséges kiszármányolását, az élőhelyrombolást és az urbanizáció kedvezőtlen hatásait azonosították (Desvars-Larrive–Vogl–Puspitarani 2024; Velazquez-Meza et al. 2022).

A délkelet-ázsiai SARS-endémia kialakulásához hasonló események előrejelzése és a védekezésre való felkészülés másfajta szemléletet igényelt, mint amit a korábbi járványtani kutatásokban alkalmaztak. A gyorsan változó világban szükségessé vált a járványok kialakulásához vezető távolabbi háttértényezők, mélyebb összefüggések elemzése. Az új megközelítés már nem csupán az orvosok és állatorvosok, hanem más szakemberek bevonását is igényelte. A természeti környezetből felbukkanó betegségek okainak tanulmányozásához szükségessé vált azoknak a szakértelmek, akik az ökoszisztémák működését, illetve azok különböző hatásokra bekövetkező megváltozását vizsgálják, vagy éppen a természeti erőforrásokkal gazdálkodnak.

A természeti környezetből származó, korábban nem ismert fertőző betegségek felbukkanására magyarázatot adhat a Brooks és munkatársai által kidolgozott evolúciobiológiai elmélet, a Stockholm-paradigma (Brooks–Hoebner–Boeger 2019). Eszerint bolygónkon végtelen számú kórokozó létezik, amely potenciálisan képes lehet megbetegíteni akár az embert is, de még nem találkozott fajunkkal. Az emberi tevékenység, illetve az ennek nyomán bekövetkező globális változások lehetőséget teremtenek a kórokozó és az ember találkozására. A kutatók ennek a veszélynek a kezelésére dolgozták ki a DAMA-protokollt, amelynek lényege a folyamatos készenlét a felbukkanó fertőző betegségek tekintetében (DAMA: document, assess, monitor, act, azaz dokumentálni, értékelni, monitorozni, cselekedni). Véleményük szerint a potenciális kórokozók folyamatos kutatásával az emberi élet időt nyer a nagyobb járványok elleni felkészüléshez (Brooks–Hoebner–Boeger 2019).

A Kaposvári Campus One Health Munkacsoportja a vadállományban előforduló egyes parazitás zoonózisok tanulmányozásával járul hozzá ehhez a munkához. Legrégebben zajló és talán legfontosabb kutatási területünk az *Echinococcus multilocularis* galandféreg okozta emberi és állati fertőzések járványtani hátterének vizsgálata.

A parazita végleges gazdái kutyafélék. Az ember a petékkel szennyezett környezetből fertőződik, és benne súlyos, az életet veszélyeztető betegség, a humán alveoláris echinococcosis (HAE) alakul ki (Casulli 2020).

A parazita Európában eredetileg kizárólag az Alpok hűvös, nedves éghajlatán élt, onnan kezdett elterjedni a kontinensen az 1990-es évektől. Ennek oka a rókák veszteség elleni sikeres immunizálási kampánya volt. A vakcinázott rókapopulációkban megszűnt a legfontosabb állományszabályozó tényező, a veszteség. Ez robbanásszerű populációnövekedéshez vezetett. A túlszaporodott állomány vándorlásba kezdett a még vakcinázatlan területek felé. Mivel a vakcinázási kampány éppen az *E. multilocularis* galandféreggel fertőzött alpesi régióban kezdődött, az első nagyobb populációnövekedés ott következett be. A vándorló rókák pedig a parazitáikat is magukkal vitték az új élőhelyekre, így hazánk területére is (Massolo–Simoncini–Romig 2022; Spotin et al. 2018).

2016 óta zajló vizsgálatsorozatunk célja a parazita által okozott emberi megbetegedés, a HAE kockázati tényezőinek felderítése. Ezt a betegséget először 2008-ban igazolták hazánkban. Az azóta eltelt időszakban negyvenöt esetet derített fel a hazai egészségügyi ellátórendszer (Dezsényi Balázs szóbeli közlése). A humán megbetegedések járványtani elemzése rávilágított, hogy a HAE két hiperendémias régióban, Észak-Magyarországon és a Dél-Dunántúlon mutat halmozódást (Csulak et al. 2024; Dezsényi et al. 2021). A két régió számos földrajzi, klimatikus és ökológiai tulajdonságában különbözik, ezért az esethalmozódás hátterének felderítésében elkerülhetetlen volt a multidiszciplináris megközelítés alkalmazása. Ezt felismerve létrehoztuk azt a HAE Munkacsoportot, amelyben a Semmelweis Egyetem, a Debreceni Egyetem, az Állatorvostudományi Egyetem, a Somogy Vármegyei Kaposi Mór Oktató Kórház és a Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ munkatársai mellett a MATE KC One Health Munkacsoportja is részt vesz a humán esetek multidiszciplináris elemzésében.

Ennek a több éve tartó vizsgálatsorozatnak az eredményeképpen sikerült igazolnunk, hogy a parazita déldunántúli endemiájában nagyon fontos szerepe van a régióra jellemző népes aranyakál-populációnak (Balog et al. 2021; Halász et al. 2021) és a talaj nedvességtartalmának (Moloi et al. 2023), amely tényezők jelentősen hozzájárulnak a környezet petékkel való szennyeződéséhez, illetve a peték fertőzőképességének hosszabb távú fennmaradásához. Igazoltuk, hogy a parazita két legfontosabb fenntartója, a vörös róka és az aranyakál együttes jelenléte egy adott élőhelyen felerősíti az endemiát (Moloi et al. 2024). Eredményeink magyarázatot adnak arra, hogy a parazita alacsony hőmérséklet iránti igénye ellenére hogyan képes sikeressé válni a Dél-Dunántúl szubmediterrán éghajlati körülményei között. Az országos adatok térinformatikai elemzésével pedig Európában elsőként sikerült igazolnunk, hogy a humán megbetegedések kockázatát növeli az érintett térségek gazdasági

elmaradottsága (Csulak et al. 2024). Ezt korábban csak a parazita ázsiai elterjedési területein tapasztalták (Casulli 2020).

Eredményeinket nem csupán nemzetközi tudományos lapokban közöljük, hanem rendszeresen tartunk ismeretterjesztő és továbbképző előadásokat is az endemiás területen működő egészségügyi szakembereknek, valamint hivatásos vadászoknak. A több éve tartó ismeretterjesztő és felvilágosító munka eredményeként megváltozott a betegség diagnosztikai hatékonysága. Míg a 2008–2018 közötti időszakban mindössze 16 beteget diagnosztizáltak, sokszor jelentős diagnosztikai késedelemmel, az azóta eltelt időszakban már 29 betegnél állapították meg a betegséget, és jelentősen csökkent a végleges diagnózis kialakításához, így a megfelelő kezelés megkezdéséhez szükséges időtartam (Dezsényi Balázs szóbeli közlése). A HAE elleni hatékony fellépés elképzelhetetlen a különböző tudományterületek összefogása nélkül – jól példázva, hogy az Egy Egység szemléletmód alkalmazása milyen értékes eszköz az általános egészség megőrzésében.

A mikotoxinokról Egy Egység szemléletben

Az Egyesült Nemzetek Szervezetének Élelmiszerügyi és Mezőgazdasági Szervezete (Food and Agriculture Organization, FAO) becslése szerint a világ gabonatermésének 25 százaléka penészgomba-toxinnal (mikotoxinnal) szennyezett (Eskola et al. 2020). Ez Magyarországon évente körülbelül 4 millió tonna gabonát érint (Mesterházy 2025). Felbecsülhetetlen a gazdasági veszteség, amely nem csupán az érintett termény mennyiségi és minőségi romlásából, kieséséből adódik. Az érintett növények csökkent beltartalmúak, romlik a feldolgozhatóságuk. A szennyezett takarmányt fogyasztó állatok termelése és ellenálló képessége csökken, nő a megbetegedések és az elhullások száma, gyakoribbá válik a fertőző betegségek fellobbanása, megnő az állategészségügyi költség, csökken a vakcinázás hatékonysága. Sok esetben tapasztalható a szaporodásbiológiai zavarok. A nagyobb mértékű gyógyszerfelhasználás terheli a környezetet, és növeli az antimikrobiális rezisztencia (AMR) veszélyét. A mikotoxinok az ember szervezetébe is bejuthatnak közvetlenül, szennyezett növényi eredetű élelmiszerek fogyasztásával, vagy állati eredetű élelmiszerekkel, ha a takarmány a javasolt határértékeken felüli mennyiségben tartalmaz toxint, és az akkumulálódik az állat fogyasztásra kerülő szerveiben, szöveteiben (pl. máj, zsír, hús), vagy kiválasztódik a tejvel vagy a tojással.

Az élelmiszerekben előforduló mikotoxinok számos egészségkárosító hatással összefüggésbe hozhatók: rákkeltő (carcinogen) hatás (aflatoxin, ochratoxin A, fumonizin B1), mutagén, genotoxikus és teratogén hatás (aflatoxin, zearalenone, patulin, ochratoxin A), szaporodásbiológiai zavarok (zearalenone, trichotecének), ellenálló képességet befolyásoló (immunmoduláló) hatás

(trichotecének, aflatoxin, ochratoxin A), lipid-peroxidáció fokozása és apoptózis indukálása (T-2 toxin, aflatoxin, ochratoxin A, fumonizinek), neurotoxikus hatás (ochratoxin A, fumonizin B1, trichotecének) (Awuchi et al. 2022). A gazdaságilag fejlett országokban alacsony expozícióval lehet számolni, de problémát jelent a mikotoxinok együttes előfordulása (multi-mikotoxin-szennyezettség), ami eredményezhet immunválaszkészességcsökkenést vagy szaporodásbiológiai zavarokat. Ember esetében nagyon nehéz közvetlen ok-okozati összefüggést bizonyítani a mikotoxin-felvétel és egyes betegségek kialakulása között.

A penészgomba-toxinok az élelmiszer-termelés teljes vertikumában megtalálhatók. Mennyiségüket számos biológiai, környezeti, technológiai és emberi tényező befolyásolja, és jelenlétük egyelőre sajnos elkerülhetetlen. Az Európai Unió javaslati értékeket határozott meg az egyes mikotoxinok maximális mennyiségére vonatkozóan a takarmány-alapanyagokban és egyes gazdasági állatfajok és ezek egyes korcsoportjai számára készített teljes értékű keveréktakarmányokban (2006/576/EK; 2013/165/EU). Az ajánlati értékek mellett kötelező érvényű határértéket az EU csak az aflatoxin B1 mikotoxin vonatkozásában határozott meg (2002/32/EK; 574/2011/EU). Németh Tamás osztályelnöksége idején (2016–2022) született meg az MTA Agrártudományok Osztályának javaslata a gazdasági állatok keveréktakarmányainak maximális mikotoxin-koncentrációjára. A javaslat célja, hogy a takarmánynövény-termesztők, a takarmány-alapanyagok forgalmazói, hogy takarmányipar, a takarmányforgalmazók és az állattartók számára iránymutatást adjon arra vonatkozóan, hogy a takarmány-előállítás teljes vertikumában melyek a mikotoxin-szennyezés szempontjából kritikus pontok, továbbá megfogalmazza, hogy milyen mikotoxin-szennyezési szint esetén milyen mértékű kockázatokkal kell számolni az állati termék előállítása során (Mézes et al. 2021).

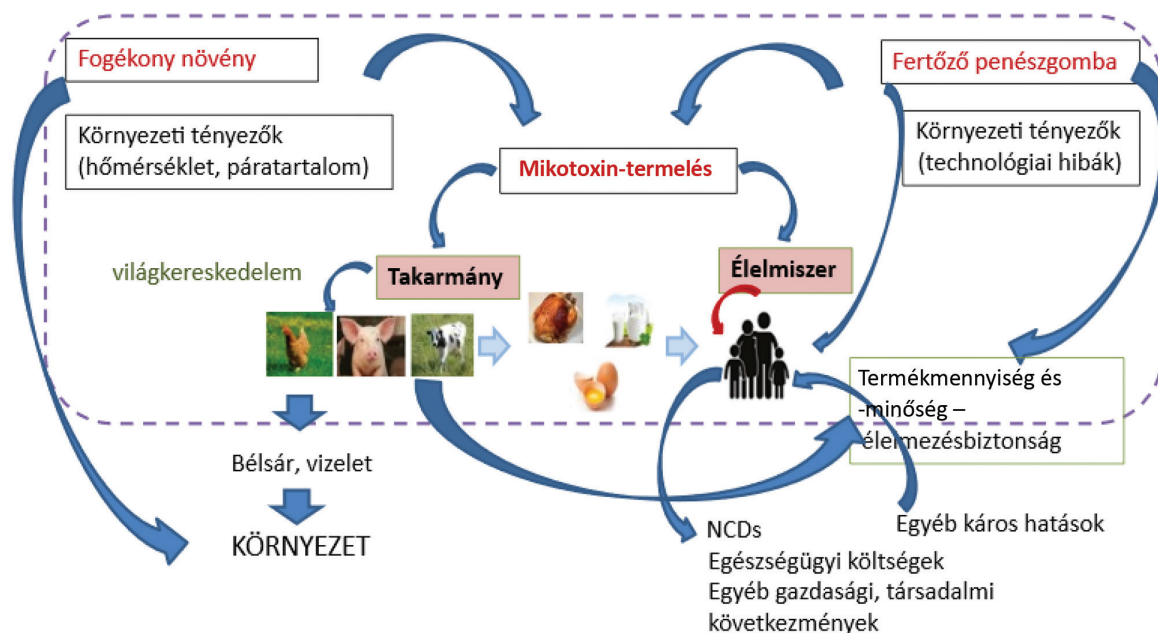
Több hazai felmérés és expozícióbecslés is alátámasztja, hogy a hazai lakosság is kitett a mikotoxinok hatásának (Ambrus et al. 2011; Farkas et al. 2022; Kerekes-Csorba–Ambrus 2021; Szeitzné Szabó–Ambrus 2009).

A kockázatbecslés a korszerű élelmiszer-biztonsági rendszer alapja. Célja tudományos ismeretekre alapozva meghatározni, hogy az élelmiszerben milyen mértékben van jelen a vizsgált egészségkárosító anyag (pl. mikotoxin), és ez az elfogyasztott mennyiség, valamint az adott anyag toxicitásának függvényében milyen mértékű és milyen jellegű egészségkockázatot jelent. Két tényezőtől függ, hogy szervezetünket milyen toxinterhelés éri: egyrészt attól, hogy az, amit fogyasztunk, milyen mértékben szennyezett, másrészt, hogy ezekből az élelmiszerekből mennyit fogyasztunk. Az expozícióbecslésnek ez a megközelítése meglehetősen sok bizonytalanságot hordoz. Pontosabb képet kapunk a terhelésről az úgynevezett biomarkerek alapján történő monitorozással, például a humán vizeletminták mikotoxin-tartalmának meghatározásával.

Egy vizsgálat sorozatban elvégeztük a hazai lakosság egy körének fumonizin FB1 és B2 *Fusarium* mikotoxin expozícióbecslését mindkét megközelítésben. Kukorica-alapú termékek mikotoxin-szennyezettségét vetettük össze a 2009-es hazai releváns fogyasztási adatokkal (NÉBIH, KSH). Az átlagos bevitt jóval az EFSA (EFSA Contam Panel et al. 2018) által meghatározott tolerálható határérték (tolerable daily intake, TDI) alatt találtuk, de a teljes populációt vizsgálva az érintettek 1 százaléka esetében a bevitt meghaladta a TDI-t (1 µg/testsúly kg/nap). A vizelet-biomarker alapján számított expozíció 2,4 százaléka esetében volt nagyobb a TDI-nél, ami mutatja, hogy a vizsgált élelmiszereken túl jóval szélesebb a lehetséges fumonizinforrások köre, valamint rávilágít a rejtett/kötött mikotoxinok problémakörére is (Szabó-Fodor et al. 2022; Zentai et al. 2019). Megállapítható, hogy a hazai fogyasztók az európaihoz hasonló expozíciónak vannak kitéve. Nagyon fontos lenne a harmonizált módszertan alapján végzett, rendszeres ellenőrzés, felmérés. A becslések arra is utalnak, hogy vannak nagyobb kockázatnak kitett csoportok: a csecsemők (12 hónapos korig) és a kisgyerekek (1–3 éves kor), a testsúlyukhoz képest nagyobb táplálékfelvétel miatt (EFSA Contam Panel et al. 2017), továbbá a terhes nők a magzatot károsító hatások miatt (Kyei-Boakyé-Gabrysch 2020; Sarron et al. 2020).

Bár a mikotoxinok döntően az élelmiszerekkel kerülnek be a szervezetbe, jelentős a kockázat azok esetében is, akik szennyezett gabonával dolgoznak, és belélegzik a port, vagy akiknél a bőrön át felszívódik a toxin (European Environment Agency 2025).

A mikotoxin-kérdéskör szintén multidiszciplináris megközelítést igényel (1. ábra). A védekezés alapja a megelőzés. Bár a toxinszennyezettség teljes kiküszöbölése nem valósítható meg, a gombafertőzöttség csökkentésére számos, a helyes mezőgazdasági gyakorlatra épülő agrotechnikai, növényvédelmi és tárolástechnikai megoldás ismert. Az eddigi hazai és közép-európai gyakorlatot át kell értékelni, tekintettel arra, hogy a klímaváltozás alapvetően befolyásolja a jelenleg termesztésben lévő fajták és technológiák fenntarthatóságát. Nagyon fontos szerepet kap a megfelelő ellenálló képességű fajta/hibrid kiválasztása, a talajgazdálkodás, a növényvédelem, a betakarítás és a tárolás módja, a növénytermesztésben a precíziós gazdálkodás elterjesztése. A klímaváltozás egyéb ökológiai kérdéseket is felvet, mint például a penészgombafajok elterjedésének és toxintermelésének megváltozása, a növényt károsító és így a penészgombafertőzésre hajlamosító rovarok elterjedésének alakulása – ezek előrejelzésében a prediktív elemzéseknek nagy szerepük van (Paterson–Lima 2011). Jó példa erre a 2022-es vagy 2024-es év, amikor a forró, aszályos nyári időszak elnyúlása nemcsak a kukorica termésátlagának romlását eredményezte, de megnőtt a veszélye a penészgombák által termelt gombatoxinok megjelenésének a takarmányokban és így az élelmiszerekben is. Kiemelt fontosságú ebből a szempontból a rákkeltő hatású aflato-



1. ábra

A mikotoxin-kérdéskör komplex, „Egy Egység” szemléletben

A fertőzésre fogékony növény penészgombával fertőződik, amely bizonyos környezeti tényezők hatására toxin(oka)t termel. A mikotoxinok szennyezik a takarmány- és élelmiszer-alapanyagokat. A toxin többféleképpen bejuthat az emberi szervezetébe: állati vagy növényi eredetű élelmiszer elfogyasztásával, belélegzéssel, bőrön át felszívódva. Az emberi expozíció hozzájárul egyéb krónikus megbetegedések kialakulásához (NCDs: noncommunicable diseases), amelyeknek jelentős gazdasági és társadalmi következményei is vannak. A fertőzött növény terméshozama csökken, és a termék minősége romlik, ami – főként a gazdaságilag elmaradott földrészeken – hozzájárul az élelmiszerbiztonsági problémákhoz. A gombával fertőzött és toxinnal szennyezett növényi részek, valamint az állat és az ember szervezetéből kiürülő toxinok és azok anyagcseretermékei szennyezik a környezetet is, aminek kártétele szinte még egyáltalán nem ismert. A szennyezett takarmányok és élelmiszerek, illetve alapanyagok (pl. fűszerek, kávé, gabonafélék, szárított gyümölcsök, olajos magvak) a globalizált világkereskedelem eredményeként a világ minden részére eljutnak, ezért nagyon fontos a jogi szabályozási háttér (határértékek, ellenőrzések, nyomonkövethetőség) megalkotása és betartása.

xinnal való szennyezettség. Az alapanyagok ipari feldolgozása (pl. élelmiszergyártás), de még otthoni elkészítése is (pl. kifőzés vízben) jelentős mértékben befolyásolhatja a mikotoxin-tartalmat, megváltoztathatja a kötöttség, a rejtett vagy a módosított mikotoxinok mennyiségét (Tan et al. 2022).

Az európai uniós élelmiszerjog alapján az élelmiszer- és takarmánybiztonsáért elsődlegesen a vállalkozó felel. A vállalkozóknak a termelés, a feldolgozás és a forgalmazás minden szakaszában biztosítaniuk kell az élelmiszerek, a takarmányok, az élelmiszer-termelésre szánt állatok, valamilyen élelmiszerbe vagy takarmányba bekerülő vagy vélhetően bekerülő egyéb anyagok útjának nyomonkövethetőségét (178/2002/EK rendelet).

Köszönetnyilvánítás

Köszönetünket fejezzük ki a kutatásban részt vevő és a közleményekben társszerzőként szereplő kollégáknak az elvégzett munkájukért és az új tudományos eredményekhez való hozzájárulásukért. A kutatásokat számos projekt keretében végeztük; köszönettel tartozunk ezek anyagi támogatásáért (GINOP-2.3.2-15-2016-00046, Tématerületi Kiválósági Program 2020 NKA-16, RRF-2.3.1-21-2022-00007, MATE Kiemelt Kutatócsoportok Programja, HUNREN-MATE Mikotoxinok az Élelmiszerláncban Kutatócsoport TKI támogatása).

Irodalomjegyzék

- 178/2002/EK (2002) Az Európai Parlament és a Tanács 178/2002/EK rendelete (2002. január 28.) az élelmiszerjog általános elveiről és követelményeiről, az Európai Élelmiszerbiztonsági Hatóság létrehozásáról és az élelmiszerbiztonságra vonatkozó eljárások megállapításáról. Az Európai Unió Hivatalos Lapja, 15/6. pp. 463–486. <http://data.europa.eu/eli/reg/2002/178/oj>
- 574/2011/EU (2011) A Bizottság 574/2011/EU rendelete (2011. június 16.) a 2002/32/EK európai parlamenti és tanácsi irányelv I. mellékletének a nitrit, a melamin és az Ambrosia spp. maximális szintjének, valamint bizonyos kokcidiosztatikumok és hisztomonsztatikumok átvitelének tekintetében történő módosításáról, továbbá az irányelv I. és II. mellékletének egységes szerkezetbe foglalásáról. Az Európai Unió Hivatalos Lapja, L 159/7–23. <http://data.europa.eu/eli/reg/2011/574/oj>
- 2002/32/EK (2002) Az Európai Parlament és a Tanács 2002/32/EK irányelve (2002. május 7.) a takarmányban előforduló nemkívánatos anyagokról. Az Európai Unió Hivatalos Lapja, 3/36. pp. 3–14. <http://data.europa.eu/eli/dir/2002/32/oj>
- 2006/576/EK (2006) A Bizottság ajánlása (2006. augusztus 17.) a deoxinivalenol, a zearalenon, az ochratoxin-A, a T-2, a HT-2 és a fumonizinek állati takarmányozásra szánt termékekben való előfordulásáról. Az Európai Unió Hivatalos Lapja, L 229/7–9. <http://data.europa.eu/eli/reco/2006/576/oj>
- 2013/165/EU (2013) A Bizottság ajánlása (2013. március 27.) a T-2 és a HT-2 toxin gabonafélékben és gabonatermékekben való jelenlétéről. Az Európai Unió Hivatalos Lapja, L 91/12–15. <http://data.europa.eu/eli/reco/2013/165/oj>
- Afshar, M. F., Zakaria, Z., Cheng, C. H. & Ahmad, N. I. (2023) Prevalence and multidrug-resistant profile of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* and methicillin-resistant *Staphylococcus*

- pseudintermedius in dogs, cats, and pet owners in Malaysia. *Veterinary World*, Vol. 16. No. 3. pp. 536–545. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2023.536-545>
- Ambrus, Á., Szeitzné-Szabó, M., Zentai, A., Sali, J. & Szabó, I. J. (2011) Exposure of consumers to deoxynivalenol from consumption of white bread in Hungary. *Food Additives and Contaminants Part A – Chemistry Analysis Control Exposure and Risk Assessment*, Vol. 28. No. 2. pp. 209–217. <https://doi.org/10.1080/19440049.2010.540720>
- Awuchi, C. G., Ondari, E. N., Nwozo, S., Odongo, G. A., Eseghe, I. J., Twinomuhwezi, H. ... Okpala, C. O. R. (2022) Mycotoxins' Toxicological Mechanisms Involving Humans, Livestock and Their Associated Health Concerns: A Review. *Toxin*, Vol. 14. No. 3. Article No. 167. <https://doi.org/10.3390/toxins14030167>
- Balog, T., Nagy, G., Halász, T., Csányi, E., Zomborszky, Z. & Csivincsik, Á. (2021) The occurrence of *Echinococcus* spp. in golden jackal (*Canis aureus*) in southwestern Hungary: Should we need to rethink its expansion? *Parasitology International*, Vol. 80. Article No. 102214. <https://doi.org/10.1016/j.parint.2020.102214>
- Baráth, Á. M., Ombula, K. D., Abdalrahman, B. M. & Csivincsik, Á. (2024) Antimicrobial Resistance of *Staphylococcus* and *Enterococcus* Bacteria in Rural Dogs in Hungary – A Preliminary Report. In: Tari T., Nagy E., Csivincsik Á., Nagy G. & Jánoska F. (szerk.) „Egy Egészség Nap – One Health Day” konferencia. Tanulmánykötet / Proceedings. Soproni Egyetemi Kiadó, Sopron. pp. 6–13. <https://doi.org/10.35511/978-963-334-542-9>
- Brooks, D. R., Hoberg, E. P. & Boeger, W. A. (2019) *The Stockholm Paradigm: Climate Change and Emerging Disease*. University of Chicago Press, Chicago. <https://doi.org/10.7208/9780226632582>
- Casulli, A. (2020) Recognising the substantial burden of neglected pandemics cystic and alveolar echinococcosis. *The Lancet Global Health*, Vol. 8. No. 4. pp. 470–471. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(20\)30066-8](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(20)30066-8)
- Collignon, P. J. & McEwen, S. A. (2019) One Health – Its importance in helping to better control antimicrobial resistance. *Tropical Medicine and Infectious Disease*, Vol. 4. No. 1. Article No. 22. <https://doi.org/10.3390/tropicalmed4010022>
- Csulak, E., Csivincsik, Á., Sréter, T., Solymosi, N., Dankó, J., Káposztás, Zs. ... Dezsényi, B. (2024) Retrospective multidisciplinary analysis of human alveolar echinococcosis in Hungary using spatial epidemiology approaches. *Scientific Reports*, Vol. 14. No. 1. Article No. 31435. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-83119-7>
- Desvars-Larrive, A., Vogl, A. E. & Puspitarani, G. A. (2024) A One Health framework for exploring zoonotic interactions demonstrated through a case study. *Nature Communication*, Vol. 15. Article No. 5650. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-49967-7>
- Dezsényi, B., Dubóczki, Z., Strausz, T., Csulak, E., Czoma, V., Káposztás, Z. ... Casulli, A. (2021) Emerging human alveolar echinococcosis in Hungary (2003–2018): A retrospective case series analysis from a multi-centre study. *BMC Infectious Diseases*, Vol. 21. No. 1. pp. 1–15. <https://doi.org/10.1186/s12879-021-05859-5>
- EFSA Contam Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain), Knutsen, H. K., Alexander, J., Barregard, L., Bignami, M., Brüschweiler, B. ... Edler, L. (2017) Scientific opinion on the risks to human and animal health related to the presence of deoxynivalenol and its acetylated and modified forms in food and feed. *EFSA Journal*, Vol. 15. No. 9. 4718. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2017.4718>
- EFSA Contam Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain), Knutsen, H. K., Barregard, L., Bignami, M., Brüschweiler, B., Ceccatelli, S. ... Alexander, J. (2018) Scientific opinion on the appropriateness to set a group health-based guidance value for fumonisins and their modified forms. *EFSA Journal*, Vol. 16. No. 2. 5172. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5172>
- Eskola, M., Kos, G., Elliott, Ch. T., Hajšlová, J., Mayar S. & Krška, R. (2020) Worldwide contamination of food-crops with mycotoxins: Validity of the widely cited 'FAO estimate' of 25%. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, Vol. 60. No. 16. pp. 2773–2789. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1658570>
- European Environment Agency (2025) Mycotoxin exposure in a changing European climate. Vol. 2. Published on 10 March, 2025. <https://doi.org/10.2800/2076941> <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/mycotoxin-exposure-in-a-changing-european-climate>
- Farkas, Zs., Kerekes, K., Ambrus, Á., Süth, M., Peles, F., Pusztahelyi, T. ... Jozwiak, A. B. (2022) Probabilistic modeling and risk characterization of the chronic aflatoxin M1 exposure of Hungarian consumers. *Frontiers in Microbiology*, Vol. 13. Article No. 1000688. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1000688>
- Franklin, A. M., Brinkman, N. E., Jahne, M. A. & Keely, S. P. (2021) Twenty-first century molecular methods for analyzing antimicrobial resistance in surface waters to support One Health assessments. *Journal of Microbiological Methods*, Vol. 184. Article No. 106174. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2021.106174>
- Hahaj-Siembida, A., Nowakiewicz, A., Korzeniowska-Kowal, A., Szczówka, K., Trościańczyk, A., Zięba, P. & Kania, M. G. (2024) Red foxes (*Vulpes vulpes*) as a specific and underappreciated reservoir of resistant and virulent coagulase-positive *Staphylococcus* spp. strains. *Research in Veterinary Science*, Vol. 166. Article No. 105111. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2023.105111>
- Halász, T., Nagy, G., Nagy, I. & Csivincsik, Á. (2021) Micro-epidemiological investigation of *Echinococcus multilocularis* in wild hosts from an endemic area of southwestern Hungary. *Parasitologia*, Vol. 1. No. 3. pp. 158–167. <https://doi.org/10.3390/parasitologia1030017>
- Kerekes, K., Csorba, Sz. & Ambrus, Á. (2021) Chronic aflatoxin M1 exposure of Hungarian consumers. *Élelmiszerbiztonsági Közlemények*, Vol. 67. No. 2. pp. 3402–3420. <https://doi.org/10.52091/EVIK-2021/2-2-ENG>
- Kovács, Á. M., Ombula, K. D., Nyaga, F. W. & Csivincsik, Á. (2024) Phenotypic Antimicrobial Resistance in *Staphylococcus* sp. and *Enterococcus* sp. Isolated from Surface Water – A Preliminary Report. In: Tari T., Nagy E., Csivincsik Á., Nagy G. & Jánoska F. (szerk.) „Egy Egészség Nap – One Health Day” konferencia. Tanulmánykötet / Proceedings. Soproni Egyetemi Kiadó, Sopron. pp. 32–39. <https://doi.org/10.35511/978-963-334-542-9>
- Kyei, N. N. A., Boakye, D. & Gabrysch, S. (2020) Maternal mycotoxin exposure and adverse pregnancy outcomes: A systematic review. *Mycotoxin Research*, Vol. 36. No. 2. pp. 243–255. <https://doi.org/10.1007/s12550-019-00384-6>
- Lapid, R., Motro, Y., Craddock, H., Khalif, B., King, R., Bar-Gal, G. K. & Moran-Gilad, J. (2023) Fecal microbiota of the synanthropic golden jackal (*Canis aureus*). *Animal Microbiome*, Vol. 5. No. 1. <https://doi.org/10.1186/s42523-023-00259-3>
- Massolo, A., Simoncini, A. & Romig, T. (2022) The 'bridge effect' by intermediate hosts may explain differential distributions of *Echinococcus* species. *Trends in Parasitology*, Vol. 38. No. 7. pp. 501–512. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2022.04.003>
- Mesterházy Á., Meszlényi T., Szabó B. & Langó B. (2025) A gabonatermelés toxikus gombái, toxinjai és az ellenük való komplex védekezés a termelési lánc teljes reformjával. *PowerPoint-bemutató. Magyar Növényvédő Mérnöki és Nővényorvosi Kamara Konferenciája, Debrecen, 2025. február 7.*
- Mézes M., Kovács M. & Mesterházy Á. (2021) Az MTA Agrártudományok Osztályának javaslata a gazdasági állatok keverékta-karmányainak maximális mikotoxin-koncentrációjára. *Állattenyésztés és Takarmányozás*, Vol. 70. No. 2. pp. 71–81.
- Moloi, S., Tari, T., Halász, T., Gallai, B., Nagy, G. & Csivincsik, Á. (2023) Global and local drivers of *Echinococcus multilocularis* infection in the Western Balkan region. *Scientific Reports*, Vol. 13. No. 1. Article No. 21176. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-46632-9>
- Moloi, S., Halász, T., Csivincsik, Á. & Nagy, G. (2024) Suitability of red fox (*Vulpes vulpes*) and golden jackal (*Canis aureus*) as hosts of

- Echinococcus multilocularis* based on egg production characteristics and literature data on the intestinal ecosystems of carnivores. *Current Research in Parasitology & Vector-Borne Diseases*, Vol. 6. 100225. <https://doi.org/10.1016/j.crpvbd.2024.100225>
- Paterson, R. R. M. & Lima, N. (2011) Further mycotoxin effects from climate change. *Food Research International*, Vol. 44, No. 9. pp. 2555–2566. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.05.038>
- Sarron, E., Pérot, M., Barbezier, N., Delayre-Orthez, C., Gay-Quéillard, J. & Anton, P. M. (2020) Early exposure to food contaminants reshapes maturation of the human brain-gut-microbiota axis. *World Journal of Gastroenterology*, Vol. 26. No. 23. pp. 3145–3169. <https://doi.org/10.3748/wjg.v26.i23.3145>
- Spotin, A., Boufana, B., Ahmadpour, E., Casulli, A., Mahami-Oskouei, M., Rouhani, S. ... Khoshakhlagh, P. (2018) Assessment of the global pattern of genetic diversity in *Echinococcus multilocularis* inferred by mitochondrial DNA sequences. *Veterinary Parasitology*, Vol. 262. pp. 30–41. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2018.09.013>
- Szabó-Fodor, J., Szeitzné-Szabó, M., Bóta, B., Schieszl, T., Angeli, Cs., Gambacorta, L. ... Kovács, M. (2022) Assessment of Human Mycotoxin Exposure in Hungary by Urinary Biomarker Determination and the Uncertainties of the Exposure Calculation: A Case Study. *Foods*, Vol. 11. No. 1. <https://doi.org/10.3390/foods11010015>
- Szeitzné Szabó M. & Ambrus Á. (2009) A Magyarországon forgalmazott paprika ochratoxin A tartalma és a paprikafogyasztás kockázatának becslése. *Magyar Állatorvosok Lapja*, Vol. 131. No. 6. pp. 357–364.
- Tan, H., Zhou, H., Guo, T., Zhou, Y., Wang, S., Liu, X. ... Ma, L. (2022) Matrix-associated mycotoxins in foods, cereals and feed-stuffs: A review on occurrence, detection, transformation and future challenges. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, Vol. 64. No. 11. pp. 3206–3219. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2131724>
- Velazquez-Meza, M. E., Galarde-López, M., Carrillo-Quiróz, B. & Alpuche-Aranda, C. M. (2022) Antimicrobial resistance: One Health approach. *Veterinary World*, Vol. 15. No. 3. pp. 743–749. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2022.743-749>
- Zentai, A., Szeitzné-Szabó, M., Mihucz, G., Szeli, N., Szabó, A. & Kovács, M. (2019) Occurrence and Risk Assessment of Fumonisin B1 and B2 Mycotoxins in Maize-Based Food Products in Hungary. *Toxins*, Vol. 11. No. 12. Article No. 709. <https://doi.org/10.3390/toxins11120709>