

## Mikotoxin-termelő *Fusarium* fajok okozta káros környezeti hatások csökkentésének lehetőségei

Bíró Györgyi – Tamás János – Borbély János – Mézes Lili – Hunyadi Gergely

Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma  
Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar  
Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet, Debrecen  
gybiro@agr.unideb.hu

### ÖSSZEFOGLALÁS

A *Fusarium* penészgombák veszélyeztetik a gabonafélék szemtermésének minőségét, ez jelentősen befolyásolja élelmezési és takarmányozási célra, valamint vetőmagként való felhasználásukat. Ezek a penészgombák többféle módon ronthatják a gabona minőségét. Csökkentik a csírázóképeséget, szemmel látható elszíneződést, penészedést okoznak. Hatásukra csökken a szemek szárazanyag- és tápanyagtartalma. Mindemellett mikotoxinokkal szennyeződnek, melyek a penészgombák másodlagos anyagcseretermékei. A *Fusarium* nemzetség által termelt toxinok közül hazánkban leggyakrabban a trichotecén (T-2, HT-2, deoxinivalenol, nivalenol, diacetoxiscirpenol, fuzarenon-x), valamint az ösztrogén hormonhatású zearalenon (ZEA, F-2) toxinok fordulnak elő. Emellett jelentős figyelmet érdemelnek az 1988-ban leírt funonizinek (FB<sub>1</sub>, FB<sub>2</sub> és FB<sub>3</sub>) is. Az Egyesült Nemzetek Élelmiszer és Mezőgazdasági Szervezetének (Food and Agriculture Organization of the United Nation) minősítése szerint a világ összgabona termésének kb. 20–30%-a szennyezett *Fusarium* gombával és azok köztes lebontási termékeivel. Ezen eredmények megegyeznek a Magyarországon mért adatokkal. A gabona előállítás során komoly hozamvesztéseket okoz a gombafertőzés, így takarmányozási célra fel nem használható termény biogáz üzemben való hasznosítása optimális megoldásnak tűnhet, de fontos megvizsgálunk a fertőzött gabona hatását a biogáz termelés folyamatára.

**Kulcsszavak:** biogáz termelés, *Fusarium*, mikotoxin

### SUMMARY

The *Fusarium* fungi hazards the grain quality of cereals, therefore significantly affects their utilization as animal feed or consumable product. The *Fusarium* can decrease the quality of wheat in different ways: decreases the germination capability, causes visible discoloration, mould may appear, reduces the dry material and nutrient content of the grain, causes mycotoxin infection – as a result given by its by-product. Micotoxins produced by *Fusarium* genus, as the trichotecenes (T-2, HT-2, deoxynivalenol, nivalenol, diacetoxyscirpenol, Fusarenone-X) and the zearalenone (F-2) are the most common in Hungary. Occurrence of fumonisins first discovered in 1988 are must be identified carefully. About 20–30% of the overall worldwide production of cereals is infected with *Fusarium* and its toxins, which situation is similar in Hungary. This infection causes serious yield-losses in cereal production. In the case of cereal products, which non-utilizable as forage seems, an optimal solution is utilizing as biogas raw material, but it is also important to examine the effect of the infected cereal on the anaerobe digestion process.

**Keywords:** biogas production, *Fusarium*, mycotoxin

### BEVEZETÉS

A *Fusarium* fajok a *Deuteromycetes*, vagyis a konídiumos gombák osztályába sorolhatók. Ezt az osztályt Fuckel *Fungi imperfecti*-nek nevezte el, amely elnevezése ma is még mindig széles körben használatos. Ebbe az osztályba egyrészt azokat a gombákat soroljuk, amelyek ivaros szaporító képleteket (aszospóra, bazídiospóra) nem fejlesztenek, másrészt pedig itt tartjuk nyilván a tömlős- és bazídiusos gombák különböző ivartalan fejlődési alakjait. A rendszerezés alapját az ivartalan úton, leggyakrabban hifavégeken vagy elkülönült, határozott alakú tartókon keletkező konídiumok képezik. A konídiumok alakja, színe, keletkezési módja nagyon változatos lehet. Általában rövid életűek, vékonyfalúak és mivel rendszerint igen nagy számban keletkeznek, elsősorban a faj gyors elterjedését szolgálják. A *Fusarium* nemzetség a *Moniliales* rendbe sorolható. Az ide tartozó gombák konídiumai a gazdanövények felületén, szabadon álló egyszerű hifavégeken vagy határozott alakú tartókon keletkeznek. A renden belül a *Tuberculariaceae* családba tartoznak a *Fusarium* sp. tagjai, melyek többféle ivartalan szaporítóképletet hoznak létre. Ilyen a kifli, vagy sarlóalakú, jellegzetes talp- és csúcsejjel ellátott, harántfalakkal tagolt többséjtű makrokonídium és a görbült kolbászka alakú, 1–2 sejttű mikrokonídium. A makrokonídiumok a fajok többségénél sporodochiumokban keletkeznek, de létrejöhetnek a légmecéliumon szétszórva is. Némely faj ezeken kívül még klamidospórákat és szkleróciumokat is létrehoz. A *Fusarium* fajok a természetben igen gyakoriak. Súlyos gazdasági károkat okoznak, így növénykórtani jelentőségük igen nagy (Mudich, 1988).

### IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Növénykórtanilag az egyik legjelentősebb fonalas gomba a *Fusarium graminearum*. Számos fontos termesztett növény kalász- és csőpenészedését, valamint gyökér- és szárkorhadását okozza. Biológiaiag két

különböző csoportot különítenek el a fajon belül. Az első biológiai csoportba tartozó egyedek talajeredetűek, elsősorban búzánál, továbbá más gabona- és fűféléknél okoznak szártőpusztulást. Az ebbe a csoportba tartozó *graminearumok* heterothallicusak, soha nem képeznek termőtestet sem szabadföldi, sem laboratóriumi körülmények között. A második biológiai csoportba tartozó *graminearumok* terjedése és fertőzése légi úton történik, búzánál és más gabonaféléknél okoznak kalászpénészedést, illetve kukoricánál szárkorhadást és csőpenészedést. Ennek a csoportnak az egyedei homothallicusak és bőségesen képeznek termőtestet szabadföldi és laboratóriumi körülmények között (Szécsi, 1994). Emellett a *Fusarium verticillioides* (*Fusarium moniliforme*) növénykórtanilag és mikotoxikológiailag szintén kiemelkedő jelentőségű. Az európai államokban a kukorica szemtermését károsító gombafertőzések 90%-át okozza (Szécsi és Vágújfalvi, 1995). A kalászfuzáriumot azonban számos *Fusarium* faj kiválthatja. Magyarországon 16 fajt azonosítottak, de világszerte hasonló sokfajúságot mutatnak az irodalmi adatok. A melegebb vidékeken a *F. graminearum* a domináns faj, a hűvösebbeken a *F. culmorum*, *F. avenaceum*, esetenként a *Microdochium* (*Fusarium*) *nivale*. A búzával ellentétben a csőpenész a kukorica termésvesztésre gyakorolt hatása alig kimutatható. A búzával szemben jelentős különbség, hogy a kukoricában a járványdinamika eltérő. A csapadékos, nedves időjárás inkább a *F. graminearum* fertőzést segíti elő, a szárazabb időjárási feltételek között viszont a *F. verticillioides* a domináns, és a rovarfertőzés is inkább a *F. verticillioides* problémát növeli (Mesterházy, 2010).

Mindezek alapján megállapítható, hogy a *Fusarium* gombával fertőzött gabonafélék sem étkezésre, sem takarmányozásra nem alkalmasak, mivel a gomba jelenléte rontja annak minőségét, illetve toxikus anyagokat termelhet. Éppen ezért jelenthet alternatív megoldást a biogáz célú hasznosítása. Az anaerob fermentálás folyamatára viszont veszélyt jelenthet, túlzott bevitel toxikus lehet. Amennyiben biológiai analógiát állítunk fel a szarvasmarha emésztése és a biogáz-termelő anaerob baktériumok életműködése között, akkor ez a kockázat a biogázt termelő mikroorganizmusok esetében is fennáll. Vizsgálatainkat elsősorban a *Fusarium* gombák által termelt toxinok biogáz termelés folyamatára gyakorolt hatására terjesztenénk ki.

### MIKOTOXINOK A TÁPLÁLÉKLÁNCBAN

Ismert, hogy Magyarország éghajlatán a talaj patogén, penészgombákkal fertőzött, elsősorban *Fusarium* fajokkal, amelyek megfelelő hőmérséklet és nedvességtartalom mellett a gabonaféléken elszaporodnak. Másodlagos anyagcseretermékeik, a mikotoxinok a táplálékláncon keresztül (növény-állat-ember) kerülnek az állat és/vagy az ember szervezetébe (Barna-Vetró et al., 1996). Ma még pontosan fel nem becsülhető veszélyek forrásai. A mikotoxinok növényi eredetű élelmiszerekkel, élvezeti cikkekkel közvetlenül bejutnak az emberi szervezetbe. A mikotoxin-probléma Magyarországon azért is érdemel figyelmet, mert ezek a természetes toxinok, főként azokban a gabonafélékben (búza, kukorica) találhatóak, amelyek az ország vetésterületének jelentős hányadát foglalják el, és a lakosság számára is fő táplálékul szolgálnak (Kovács, 2010b). A deoxinivalenol (DON), „marker” toxin a *Fusarium*-ok esetében. Ha a DON jelen van, akkor biztosan volt *Fusarium* gombafertőzés, és a tételben jelen van a zearalenon toxin is egy nagyságrenddel alacsonyabb szinten, ahogy a többi trichotecén vázas toxin is, közülük a leggyakrabban előforduló T-2 toxin (Búza és Schill, 2010).

A mikotoxinok jelenléte a takarmányokban komoly veszélyforrás, ezért a világ országainak többségében valamilyen szabályozás indokolt. Az Európai Bizottság (EB) 2006/576/EK rendelete megadja az állati takarmányozásra szánt termékekben a fontosabb mikotoxinok megengedhető határértékeit. A deoxinivalenol esetén a takarmány alapanyagokra vonatkozóan 8 mg/kg, a takarmánykeverékek esetében jellemző az 5 mg/kg, de kivétel a sertés, ahol 0,9 mg/kg, illetve a borjú-bárány, ahol 2 mg/kg a megállapított határérték. Nemzeti határértékeink szigorúbbak, állatfajonként 0,4–2 mg/kg. A T-2 toxin esetén az EB közösségi szintű határértéket eddig nem állapított meg. A Magyar Tudományos Akadémia Állatorvos-tudományi Bizottsága takarmánykeverékekre vonatkozóan állatfajonként a 0,25–0,8 mg/kg tartományban helyezte el a megengedett határértékeket. Az EB szerint 2 mg/kg a takarmány alapanyagok vonatkozásában, a takarmánykeverékek tekintetében 0,1–0,5 mg/kg közötti, az állatfajokra bontott határérték tartomány zearalenon esetén. Kukoricára, mint alapanyagra vonatkozóan az EB 60 mg/kg értéket alkalmaz, a takarmánykeverékek vonatkozásában állatfajonként 5–50 mg/kg között helyezkednek el a határértékek fumonizin B<sub>1</sub> és B<sub>2</sub>-re vonatkozóan. Az Állatorvos-tudományi Bizottság határértékei az 5–30 mg/kg tartományba esnek a különböző állatfajok tekintetében (Búza és Schill, 2010).

### MIKOTOXINOK KIMUTATÁSI MÓDSZEREI

A gyakorlati életben a búza *Fusarium* fertőzöttségének megállapítására az MSZ 6383:1998 számú szabványt alkalmazzák. A szabvány szerint *Fusarium* sp. által károsítottak minősülnek azok a szemek, amelyeken a rózsaszín vagy fehéres penésztelepek szabad szemmel is észlelhetők, illetve amelyek a kártétel következtében kifehéredtek, állagukban károsodtak, könnyen szétmorzsolhatók. Nagy problémát jelent, hogy mire a mikroorganizmusokkal való fertőzöttség szemmel is érzékelhető, addigra már jelentős minőségromlás, esetleg toxin felhalmozódás következik be.

A *Fusarium* toxinok meghatározási módszerei közül megemlítenendő az 1980-as években jelentős szerephez jutott gázkromatográfia (Gas Chromatography, GS), vagy a mostanában széles körben használt nagyhatékonyságú (intenzív) folyadékkromatográfia (High Performance Liquid Chromatography, HPLC), de a

mikotoxin analitika kezdeti fázisában domináló vékonyréteg-kromatográfia (Thin Layer Chromatography, TLC) is megtartotta a mai napig jelentőségét. A mikotoxin analitikában a legújabb és nagy perspektívákat ígérő irányzat az enzimmel kapcsolt immunoszorbens assay (Enzyme-linked immunosorbent assay, ELISA) felhasználása. A specifikus antitestek használata lehetővé teszi a rendkívül szelektív elválasztást és ezt követően az igen érzékeny és megbízható mennyiségi meghatározást (Borbély et al., 1999).

### MIKOTOXINOK KÉMIAI SZERKEZETE

A mikotoxinok rendkívül változatos kémiai szerkezetű vegyületek (néhány példát az 1. ábra mutat be); ennek megfelelően az általuk kiváltott tünetek és megbetegedések is sokfélék. A *Fusarium* penészek által termelt trichotecénvázis mikotoxinok toxicitásának alapja a 12,13-epoxid gyűrű jelenléte. Az „A” típusú trichotecének funkcionális csoportként a 8. C-atomon keto-csoportot nem tartalmaznak. Ebbe a csoportba tartozik a T-2, a HT-2, a diacetoxiszcirpenol (DAS) és a neozolaniol (NEO) toxin. A „B” típusú trichotecének a 8. C-atomon keto-csoportot tartalmaznak. Ide tartoznak a deoxinivalenol (DON), a nivalenol (NIV) és a fuzarenon-x (FUS) toxinok (Mézes és Balogh, 2010).

A zearalenon egy rezolcilsavas laktonszármazék. A zearalenonok családja több, ösztrogénhez hasonló kémiai szerkezetű vegyületet foglal magába, melyek ösztrogén-szerű hatása azonban eltérő. Sertésben és emberben a ZEA metabolizációja során képződő  $\alpha$ -zearalenol négyszer erősebb ösztrogén-szerű hatást fejt ki (Cseh és Kovács, 2010).

A fumonizin B<sub>1</sub> egy poláros vegyület, melynek alapja egy hosszú, hidroxil- és metilcsoportokat tartalmazó szénlánc. Az eddig ismert tizenkét fumonizin a szénláncához kapcsolódó csoportokban mutat különbséget (Szabó-Fodor és Kovács, 2010).

1. ábra: Néhány jelentős mikotoxin kémiai szerkezete (Dawson et al., 2006)

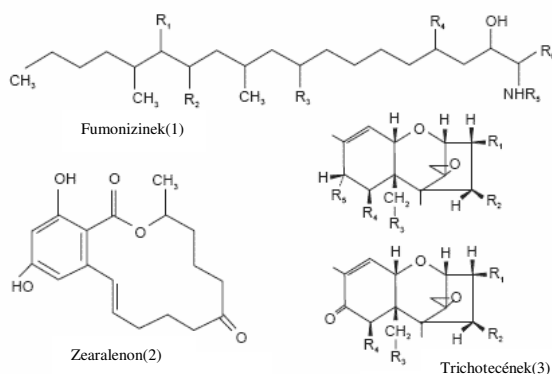


Figure 1: Chemical structure of some important mycotoxins (Dawson et al., 2006)  
Fumonisins(1), Zearalenone(2), Trichothecenes(3)

### MIKOTOXINOK HUMÁN- ÉS ÁLLATEGÉSZSÉGÜGYI VONATKOZÁSAI

A mikotoxinok kis molekulatömegűek, antigén hatásuk nincs, ezért belőlük az ellenük való védekezést szolgáló vakcina nem készíthető. Magas hőmérsékletre nem érzékenyek, a 100–200 °C-on szárított gabona toxint még tartalmazhat. A gyomornedv sósavtartalmának ellenállnak, így mérgező tulajdonságuk a szervezetben megmarad. Agresszív sejtmérgek, a szervezeten belül a különféle szervekben (máj, vese) kumulálódhatnak. Direkt vagy indirekt módon gátolják a szervezet specifikus védekező mechanizmusát, metabolitjaikkal együtt bekerülhetnek a különféle állati eredetű élelmiszerekbe (tej, tojás, vér, máj). Ma már ismert, hogy közülük számos az állat és az ember egészségét közvetlenül is veszélyezteti. A toxinok előfordulására a táplálékláncban mindenütt számolni kell, ahol lehetőség van a penészgombák elszaporodására. A mikotoxinok mikro mennyiségben vannak jelen a táplálékláncban. Manapság gyakoribbak az idült mérgezések és a multitoxikus ártalmak. A toxinok horizontális és vertikális mozgása a táplálékláncban a talajtól az emberi táplálékon át az anyatejig kimutatható (Kovács, 2010a). A *Fusarium* toxinok közül rákkeltő, karcinogén hatás jellemzi a fumonizineket. Reprodukcióra kifejtett káros hatású toxinok a trichotecének és a zearalenon. Kifejezetten immunszuppresszív hatásúak a trichotecének. Az idegrendszerre pedig a fumonizinek és trichotecének is káros hatást fejtenek ki. A mikotoxinok károsító hatásának jellegét és súlyosságát külső és belső tényezők befolyásolhatják, így a mikotoxin kémiai szerkezete (kumulálódás), koncentrációja, a hatás időtartama, több mikotoxin egyidejű jelenléte (interakció, szinergizmus, addicionálós hatás), egyedi érzékenység és egészségi állapot (Kovács, 2010b).

A trichotecén típusú toxinok (T-2, HT-2, DON, DAS, NIV és FUS) a leggyakoribbak hazánkban. Közülük Magyarországon a deoxinivalenol fordul elő leggyakrabban és legnagyobb mennyiségben a különféle étkezési gabonaneműekben és termékeikben. Súlyos gastrointestinalis zavarokat (hányás, hasmenés) okoznak. Dermatotoxikusak, befolyásolják a szaporítószervek működését, módosítják a mellékvese működését. Immunszuppresszív hatásúak, nekrotikus és gyulladásos folyamatokat indítanak meg, idegrendszeri elváltozásokat indukálnak. Sejtszinten gátolják a fehérje, a DNS- és RNS-szintézist, befolyásolják a membrántranszport folyamatokat (Kovács, 2010b).

A zearalenon ösztrogénhatású, ösztrogén-kötő receptorokkal rendelkező szervezetben okoz károsodást. Hímivarú állatokban gátolja a spermiogenezist, melynek súlyossága arányos a bevitt mennyiséggel és a toxinhatás időtartamával. A nőivarú egyedekben a méh állandó ödémás állapota észlelhető nagymértékű sejtproliferáció kíséretében. A petefészkek és a méh működésében aszinkronia alakul ki, a pete implantációja akadályozott, méh eredetű meddőség alakulhat ki. A zearalenont feltételezik a lányokban előforduló ivari koraérés okaként (Kovács, 2010b). A zearalenonnal szemben a legérzékenyebb állatfaj a sertés. A szarvasmarha kevésbé érzékeny a toxinnal szemben (Cseh és Kovács, 2010). Újabban feltételezik, hogy a ZEA karcinogenezist indíthat meg az ösztrogén dependens szövetekben (Kovács, 2010b).

A fumonizinek a *Fusarium* toxinok viszonylag újonnan felfedezett, 1988-ban leírt csoportját alkotják, amelyek fő képviselője a fumonizin B<sub>1</sub>. Állatfajokban eltérő kórképeket idéz elő, lovakban encephalomaláciát, sertésben tüdővizenyőt okoz (Placinta et al., 1999). Rákkeltő hatása alapján a Nemzetközi Rákkutató Ügynökség (International Agency for Research on Cancer, IARC) besorolása szerint 2B csoportba tartozik, azaz potenciálisan karcinogén. Ezzel függ össze, hogy magas FB<sub>1</sub> tartalmú kukorica fogyasztása felelős az emberi nyelőcsőrák kialakulásáért. Továbbá a toxin zavart okoz az idegcső fejlődésében, súlyos velőcsőzáródási fejlődési rendellenességet előidézve a magzatban (Kovács, 2010b). A különböző *Fusarium* fajokat az általuk termelt toxinok feltüntetésével az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat

Toxintermelő *Fusarium* fajok és toxinjaik (Mesterházy, 2010)

| <i>Fusarium</i> fajok(1)   | Mikotoxinok(2)                                      |
|----------------------------|---|
| <i>F. acuminatum</i>       | T-2, MON, HT-2, DAS, MAS, NEO, BEA                  |
| <i>F. antophilum</i>       | BEA   |
| <i>F. avenaceum</i>        | MON, BEA  |
| <i>F. cerealis</i>         | NIV, FUS, ZEN, ZOH                                  |
| <i>F. chlamydosporum</i>   | MON   |
| <i>F. culmorum</i>         | DON, ZEN, NIV, FUS, ZOH, AcDON                      |
| <i>F. equiseti</i>         | ZEN, ZOH, MAS, DAS, NIV, DAcNIV, FUS, FUC, BEA      |
| <i>F. graminearum</i>      | DON, ZEN, NIV, FUS, AcDON, DAcDON, DAcNIV           |
| <i>F. heterosporum</i>     | ZEN, ZOH  |
| <i>F. nygamai</i>          | BEA, FB <sub>1</sub> , FB <sub>2</sub>              |
| <i>F. oxysporum</i>        | MON, BEA  |
| <i>F. poae</i>             | DAS, NIV, FUS, MAS, T-2, HT-2, NEO, BEA             |
| <i>F. proliferatum</i>     | FB <sub>1</sub> , BEA, MON, FUP, FB <sub>2</sub>    |
| <i>F. sambucinum</i>       | DAS, T-2, NEO, ZEN, MAS, BEA                        |
| <i>F. semitectum</i>       | ZEN, BEA  |
| <i>F. sporotrichioides</i> | T-2, HT-2, NEO, MAS, DAS                            |
| <i>F. subglutinans</i>     | BEA, MON, FUP                                       |
| <i>F. tricinctum</i>       | MON, BEA  |
| <i>F. verticillioides</i>  | FB <sub>1</sub> , FB <sub>2</sub> , FB <sub>3</sub> |

Rövidítések: AcDON=Mono-acetildeoxinivalenol (3-AcDON, 15-AcDON); AcNIV=Monoacetilnivalenol (15-AcNIV); BEA=Beauvericin; DiAcDON=Di-acetildeoxinivalenol (3,15-AcDON); DAcNIV=Diacetilnivalenol (4,15-AcNIV); DAS=Diacetoxiszcirpenol; DON=Deoxinivalenol (Vomitoxin); FB<sub>1</sub>, FB<sub>2</sub>, és FB<sub>3</sub>=Fumonizin B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> és B<sub>3</sub>; FUP=Fuzaproliferin; FUS=Fuzarenon-X (4-Acetil-NIV); FUC=Fuzarochromanon; HT-2=HT-2 toxin; MAS=Monoacetoxiszcirpenol; MON=Moniliformin; NEO=Neosolaniol; NIV=Nivalenol; T-2=T-2 toxin; ZEN=Zearalenon; ZOH=zearalenolok (α és β izomerek).

Table 1: Toxin-producing *Fusarium* species and their toxins (Mesterházy, 2010)  
*Fusarium*(1), Mycotoxins(2)

## TOXICITÁS KÖRNYEZETI KOCKÁZATAINAK CSÖKKENTÉSE

A mikotoxin szennyezettség csökkentésére számos lehetőség áll rendelkezésre. Hatékony módszerek bizonyult a penészfertőzés és a mikotoxin szennyezés megelőzése érdekében a gabona magvakhoz penészgátló anyagok, így például propionsav adagolása. Régóta ismert, bár a gyakorlatban nem terjedt el, az aktív szén alkalmazása mikotoxin kötő vegyületként. Hatékonyan megköti a *Fusarium* fajok által termelt deoxinivalenolt, a nivalenolt, a fumonizineket és a T-2 toxint. Hatása ugyanakkor csak nagy dózisban (50–200 g/kg takarmány) adagolva számottevő (Mézés et al., 2010).

A mikotoxinok kevésbé toxikus vegyületekké alakulhatnak különböző kémiai és biológiai reakciók során, melyek nagy részét már felderítették. Ilyen az alkalizáció, az oxidáció, a redukció, a hidrolízis és a konjugáció. Ezen reakciók felhasználásával meg lehet változtatni a mikotoxinok szerkezetét úgy, hogy azok toxicitását csökkenthessük. A hangsúlyt a méregtelenítési reakciók megértésére kell fektetni, a detoxifikációban szerepet játszó enzimek felderítésével (He et al., 2010).

A mikotoxinok elleni védekezés új irányának tekinthető a biotranszformáció, amely azon az elven alapul, hogy egyes mikotoxinokat hatékonyan bontják egyes talajban, élesztőben, vagy a bendőben élő mikroorganizmusok által termelt enzimek. A *Fusarium* penészek által termelt trichotecénvázas mikotoxinok, gyűrűs szerkezetük középpontjában egy 12,13-epoxid csoportot tartalmaznak, amely felelőssé tehető a toxikus aktivitásért. Az epoxid csoport redukciója jól ismert folyamat a kérődző állatok bendőjében élő mikrobiális epoxidáz enzimek által. Napjainkban már számos olyan baktérium és élesztő faj ismert, amelyek hasonló aktivitással rendelkeznek. Egyes, a bélcsatornában élő baktériumok közül jól ismert *Eubacterium* fajok is képesek olyan epoxidáz enzimek szintézisére, amelyek hatékonyan képesek a *Fusarium* penészek által termelt mikotoxinok biotranszformációjára a 12,13-epoxid gyűrű de-epoxidációja révén, így azokat nem, vagy kevésbé toxikus metabolitokká alakítják (Mézés et al., 2010). Amennyiben biológiai analógiát állítunk fel a szarvasmarha emésztése és a biogáz-termelő anaerob baktériumok életműködése között, akkor a biotranszformáció elve hatékonyan bizonyulhat a biogáz-termelés folyamatában jelen lévő mikotoxinok hatástalanítására.

Mind nemzetközi, mind hazai szinten is csak takarmányokra határoztak meg határértékeket és tolerancia-szinteket a gombatoxinokra vonatkozóan. A hazánkban előforduló egyik leggyakoribb toxin, a DON esetében az Európai Bizottság 2006/576/EK rendelete szerint a takarmány alapanyagokra vonatkozóan 8 mg/kg, a takarmánykeverékek esetében 5 mg/kg a megengedhető határérték. Sertés, illetve a borjú-bárány esetében alacsonyabb határértéket állapítottak meg. Az MTA Állatorvos-tudományi Bizottsága által meghatározott határértékek szigorúbbak, állatfajonként legfeljebb 0,4–2 mg/kg. Amennyiben a fermentáló toxikusságának meghatározásakor határérték alatti eredményeket kapnánk, úgy a végtermék, az ún. biotrágya felhasználható lenne szerves trágyaként, öntözésre, vagy talajjavító anyagként egyaránt. A takarmányokban megszabott mikotoxin határértékek alapján szeretnénk javaslatot tenni a biogáz előállítás során megengedhető maximális mikotoxin határértékekre vonatkozóan. Biogáz-gyártás alapanyagaira ilyen határértékeket eddig nem állapítottak meg sem hazai, sem nemzetközi viszonylatban.

A Hohenheimi Farm Szervezetek és Farm Struktúrák Állami Intézete (State Institute of Farm Machinery and Farm Structures) a biogáz fermentáció folyamatban jelen lévő mikotoxinok hatástalanításának vizsgálatára összpontosította figyelmét. Számos korszerű eljárást teszteltek. A hőmérsékleti értékek, oltási arányok és tartózkodási idők különböző variációi mellett laborméretű kísérletekben becsülték meg a toxinok hatástalaníthatóságát és a biogáz-termelésre való hatását. A német Megújuló Erőforrások Ügynökségének (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe) kutatásai elsők között állapították meg, a *Fusarium* és a DON mikotoxin inaktivációs potenciálját, ha a szennyezett gabonát biogáz előállítás céljára használjuk fel. A biogáz reaktorokban fél napos tartózkodás után vettek mintát. A minták extrakciója után nem volt kimutatható a *Fusarium* jelenléte (Frauz et al., 2006). Ezen kutatási eredményeket alapul véve, illetve egyéb módszereket is felhasználva szeretnénk laboratóriumi vizsgálatokat végezni a *Fusarium* gombák és mikotoxinjaik a fermentációra gyakorolt hatásával és az endotoxinok végtermékben való fellelhetőségére vonatkozóan, melyek a táplálékláncba bekerülve később jelenthetnek egészségügyi kockázati forrást.

A fermentált végtermék toxikus hatását a talajban végzett toxicitási tesztekkel, illetve *Fusarium*-ra érzékeny gabonaféléken (kukorica, búza) végzett csíratesztekkel kívánjuk meghatározni, a végtermék toxikusságát pedig endotoxinok tekintetében a *Fusarium*-ra érzékeny gabonafajokon akarjuk tesztelni különböző minőségű (homok, homokos vályog) talajok esetében. A nemzetközi kísérletek, főleg a *Fusarium* gomba kimutathatóságát célozták meg laboratóriumi körülmények között a biogáz rendszerben. Az anaerob fermentálás végtermékének mikotoxin tartalmát, illetve annak hatását a talaj-növény-állat-ember rendszerre eddig még nem vizsgálták.

### IRODALOM

- Barna-Vetró I.–Solti L.–Gyöngyösiné H. Á.–Szabó J.–Wölfling A. (1996): Immundiagnosztikai tesztek mikotoxinok mérésére. Növényvédelem. 32. 8: 389–400.
- Borbély, M.–Veres, E.–Győri, Z. (1999): Screening for mycotoxin contamination of wheat harvested in 1998. 17<sup>th</sup> ICC Conference. Abstracts Book. 27.

- Búza L.–M. Schill J. (2010): A mikotoxinok vizsgálati módszerei, eredményei, előfordulásuk a hazai takarmányokban. [In: Kovács M. (szerk.) Aktualitások a mikotoxin kutatásban.] MTA Állattenyésztési és Állathigiéniai Kutatócsoport. Kaposvár. 13–20.
- Cseh S.–Kovács M. (2010): Mikotoxinok reprodukcióra kifejtett hatásai. [In: Kovács M. (szerk.) Aktualitások a mikotoxin kutatásban.] MTA Állattenyésztési és Állathigiéniai Kutatócsoport. Kaposvár. 73–84.
- Dawson, K. A.–Evans, J.–Kudupoje, M. (2006): Understanding the adsorption characteristics of yeast cell wall preparations associated with mycotoxin binding. *Science and Technology in the Feed Industry*. Nottingham. 169–181.
- Frauz, B.–Weinmann, U.–Oechsner, H.–Drochner, W. (2006): Inactivation of cereal mycotoxins to gain income security over biogas production. *Prosperity and Poverty in a Globalised World – Challenges for Agricultural Research*. 11–13. 10. 2006. Bonn. 307.
- He, J.–Zhou T.–Young, J. C.–Boland, G. J. M.–Scott, P. (2010): Chemical and biological transformations for detoxification of trichothecene mycotoxins in human and animal food chains: a review. *Trends in Food Science & Technology*. 21. 2: 67–76.
- Kovács F. (2010a): Agrártermelés – Tápláléklánc – Mikotoxinok. [In: Kovács M. (szerk.) Aktualitások a mikotoxin kutatásban.] MTA Állattenyésztési és Állathigiéniai Kutatócsoport. Kaposvár. 7–12.
- Kovács M. (2010b): A mikotoxinok humán-egészségügyi vonatkozásai. [In: Kovács M. (szerk.) Aktualitások a mikotoxin kutatásban.] MTA Állattenyésztési és Állathigiéniai Kutatócsoport. Kaposvár. 85–102.
- Mesterházy Á. (2010): A mikotoxinok táplálékláncból való kiiktatásának lehetőségei, a rezisztencianemesítés, a fajtaelismerés és az agrotechnika területén. [In: Kovács M. (szerk.) Aktualitások a mikotoxin kutatásban.] MTA Állattenyésztési és Állathigiéniai Kutatócsoport. Kaposvár. 119–140.
- Mézes M.–Balogh K. (2010): Mikotoxinok hatása a szervezet lipidperoxidációs folyamataira és az antioxidáns rendszerre. [In: Kovács M. (szerk.) Aktualitások a mikotoxin kutatásban.] MTA Állattenyésztési és Állathigiéniai Kutatócsoport. Kaposvár. 59–71.
- Mézes M.–Balogh K.–Tóth K. (2010): A takarmány alapanyagok mikotoxin tartalmának és a mikotoxin szennyezettség által előidézett toxikus hatások mérséklésére alkalmas megelőző módszerek. [In: Kovács M. (szerk.) Aktualitások a mikotoxin kutatásban.] MTA Állattenyésztési és Állathigiéniai Kutatócsoport. Kaposvár. 141–148.
- Mudich A. (1988): Növényvédelmi mikológia. Agrártudományi Egyetem. Keszthely.
- Placinta, C. M.–D’Mello, J. P. F.–Macdonald, A. M. C. (1999): A review of worldwide contamination of cereal grains and animal feed with *Fusarium* mycotoxins. *Animal Feed Science and Technology*. 78. 1: 21–37.
- Szabó-Fodor J.–Kovács M. (2010): A fumonizin B<sub>1</sub> metabolizmusa, akkumulációja és eliminációja sertésben. [In: Kovács M. (szerk.) Aktualitások a mikotoxin kutatásban.] MTA Állattenyésztési és Állathigiéniai Kutatócsoport. Kaposvár. 21–35.
- Szécsi Á. (1994): *Fusarium graminearum* izolátumok azonosítása egy új módszerrel. *Növényvédelem*. 30. 1: 1–6.
- Szécsi Á.–Vágújfalvi A. (1995): Fumonisin mikotoxinok kimutatása ELISA módszerrel *Fusarium moniliforme* és *Fusarium proliferatum* tenyészetekben. *Növényvédelem*. 31. 7: 317–321.