

Élelmiszerek és takarmányok mikrobiális eredetű károsodása

Az élelmiszer és a takarmány alapanyagok mikroorganizmusokkal mindig szennyezettek. Normális esetben ennek mértéke nem befolyásolja az alapanyag felhasználhatóságát, hiszen minden egyes terméknek megvan a maga természetes mikroflórája. Azonban ha a környezeti feltételek kedveznek a mikrobák adott szubsztráton való szaporodásának, akkor az az alapanyag romlásához vezet. Attól függően, hogy az adott mikrobacsoport hozzá tartozik e az illető alapanyag természetes mikroflórájához vagy pusztán a szél, csapadék, stb. útján került e rá, beszélhetünk a szubsztráton aktív anyagcserét folytató és romlást okozó mikroorganizmusokról illetve aktív anyagcserét nem folytató, hozzákeveredett, szennyező mikrobacsoportról. A két csoport közötti különbségtétel nem könnyű feladat.

A mikroorganizmusok szaporodása – alacsonyabb rendű élőlények lévén – vízhez kötött. Ez azt jelenti, hogy az adott növény (szubsztrát) nedvességtartalma döntően befolyásolja a mikroba szaporodását. Ezzel kapcsolatban meg kell ismerkednünk a vízakktivitás (a_w) fogalmával. A vízakktivitás egy olyan viszonyszám, amely megmutatja, hogy a termék (alapanyag) nedvességtartalmából képződő víz parciális gőznyomása hányad része a tiszta víz parciális gőznyomásának adott hőmérsékleten.

$$\text{vízakktivitás } (a_w) = \frac{\text{a termék nedvességtartalmának parciális gőznyomása}}{\text{a tiszta víz parciális gőznyomása}}$$

A vízakktivitás érték pont az 1/100-ad része a régebben használt relatív nedvesség (RH%) értékének. Ez a tényező azt fejezi ki, hogy a szubsztrát nedvességtartalma hány százaléka a szubsztrát telítéséhez szükséges nedvességtartalomnak.

A vízakktivitási érték alapján, vagyis aszerint hogy az egyes mikrobacsoportok mely érték fölött életképesek, csoportosíthatjuk a mikroorganizmusokat (1. táblázat).

1. táblázat: Mikroorganizmusok élettevékenységéhez minimálisan szükséges vízakktivitás értékek

Mikrobacsoport	Vízakktivitás igény
Gram-negatív baktériumok	1,00-0,95
Bacillaceae-k	0,95-0,91
Élesztők	0,91-0,88
Penészek	0,88-0,80
Halofil baktériumok és a Staphylococcus aureus	0,86-0,75
Xerofil penészek	0,75-0,65
Ozmofil élesztők	0,65-0,60

Az 1. táblázatból látható, hogy legalacsonyabb vízakktivitás értéken a xerofil penészek és az ozmofil élesztők, a legmagasabban a Gram-negatív baktériumok károsítják az élelmiszereket és takarmányokat.

A vízakktivitáson kívül befolyásolja a mikorbák szaporodását a hőmérséklet, a levegő relatív páratartalma, a szubsztrát pH-ja, természetes mikroflórája, tápértéke.

Egy hűvös, jól szellőző tárolóban, ahol a termény megfelelően száraz a gombák száma általában nem több mint 1000/g, a baktériumoké 10 000/g. Ez természetesen csak egészséges, korábban még nem tárolt terményekre igaz.

A szakszerűtlen tárolás, anyagmozgatás a baktériumok számát több millióra, a gombák számát több tízezerre növelik 1 g terményre (pl.: takarmány) vonatkozóan.

A romlási folyamat szempontjából fontos, hogy ne csak a mikrobák számát, de faji összetételét is ismerjük az adott terményben. A flóra ugyanis folyamatosan változik, mindig azon tagjai kerülnek kedvezőbb helyzetbe (szaporodnak a legintenzívebben) melyek számára a legoptimálisabbak a pillanatnyi életfeltételek. Ezen mikrobákat vezérmikroorganizmusoknak nevezzük.

Élelmiszerek és takarmányok romlását előidéző fonalas gombák

A kártétel helyét, a károsítás módját, idejét, feltételeit tekintve a penészgombák lehetnek **szántóföldi gombák és raktári gombák**.

A fentiekből kiindulva elmondható, hogy a **szántóföldi gombák** fejlődésükhöz nagyobb nedvességtartalmú és vízaktivitású szubsztrátot igényelnek. Ebben az esetben a fertőzés még a táblán, a betakarítás előtt, akár már a tenyészidőszak egy viszonylag kezdeti fázisában következhet be. Így a gomba a termény felületén vagy belsejében kerülhet be a raktárba. Az ide tartozó leggyakoribb növénypatogén gomba nemzetségek a következők: *Alternaria*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Helminthosporium*. A fentiekén kívül elfordulhat még a szár- és levélmaradványokon, illetve az azokkal szennyezett (kontaminálódott) szemterméseken a *Chaetomium*, *Trichoderma*, *Trichotecium* és *Stachybotrys* nemzetség képviselői is. Az ilyen fajta kontaminációt segíti a légmozgás, mivel az terjesztheti a fenti gombák szaporítóképletei. A betakarítás környékén és az után, amikor a szemtermés nedvességtartalma nem több mint 20%, a növénypatogének és a szaprofiták nem képesek tovább szaporodni. Sőt a tárolási idővel párhuzamosan csökken ezen gombák szaporítóképleteinek életképessége. Kártételük csak magasabb nedvességtartalmú tárolt árun következhet be, bár ez csak ritkán fordul elő.

A termény tárolása alatt a legnagyobb gondot a **raktári gombák** jelentik, melyek már a szántóföldön is fertőzhetnek, bár kártételük ekkor még elhanyagolható. Az ide tartozó fontosabb nemzetségek: *Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor* és *Rhizopus*. Közülük az *Aspergillus* már a 14%, míg a *Penicillium* a legalább 16 *Mucor* és *Rhizopus* fajok a legalább 20 % nedvességtartalmú terményt képesek megtámadni. Ezen fajok esetében a fertőzési forrást a por és talajszennyeződés jelenti (ugyanis ezek talajlakó gombák), amit a légmozgás segít. Így akár nem károsodott termények felületén is előfordulhatnak.

A szemestermények felületén előforduló gombákat életképességük és nedvességigényük alapján csoportosíthatjuk (2. táblázat).

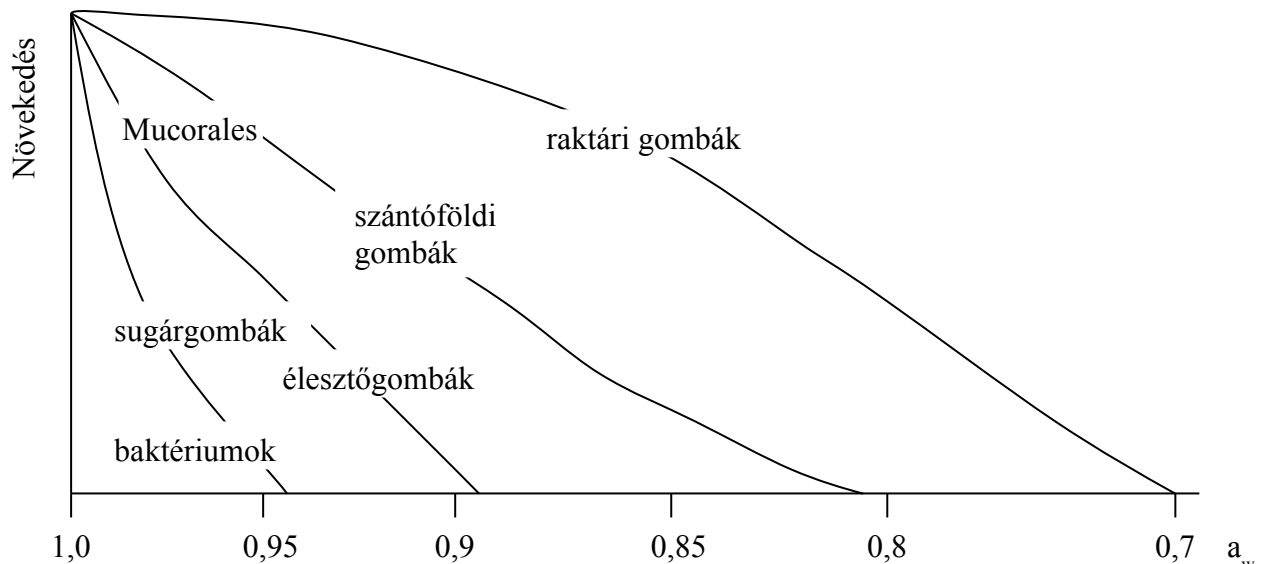
2. táblázat: Penészgombák csoportosítása azok életképessége és RH igénye szerint.

Életképesség szerint	Nedvességigény szerint
EFEMER gombák <i>Alternaria</i> <i>Epicoccum</i> <i>Fusarium</i>	HIGROFIL gombák <i>Fusarium</i> <i>Epicoccus</i> Mucorales
MEZOBIONTA gombák <i>Chaetomium</i> <i>Aureobasidium</i> <i>Cladosporium</i>	MEZOFIL gombák <i>Cladosporium</i> <i>Alternaria</i> <i>Aspergillus</i> <i>Penicillium</i> <i>Fusarium moniliforme</i>

PERZISZTENS fajok	XEROFIL gombák
Aspergillus	Aspergillus glaucus
Penicillium	Aspergillus restrictus
Mucor	Aspergillus versicolor
	Aspergillus candidus

Az efemer fajok szaporítóképletei a betakarítás után elvesztik életképességüket. A mezobionták a tárolási idő növekedésével egyre kevésbé életképesek, míg a perzisztens fajok akár évekig tartó tárolás után is kitenyészthetők.

A higofil mikroba RH igénye közel 100 %, vagyis csak nagyon magas nedvességtartalom mellett képesek megtámadni a szubsztrátot. A mezofilek RH igénye 95 %. Ugyancsak 95 % az RH optimuma a xerofil gombáknak, de ezek képesek növekedni ettől lényegesen alacsonyabb szubsztrát-nedvességtartalom esetén is (1. ábra). Erre jó példa, hogy egyes fajok az aszalványokon is jól megélenek, melyek nedvességtartalma közismerten alacsony.



1. ábra: A mikrobák növekedéséhez szükséges optimális vízáktívitás értékek

A mikrobiológiai eredetű károsodásnak több formája ismeretes. Ilyenek az elszíneződés, dohosság, fülledtség, rothadás, íz és szaghibák kialakulása. Ezen elváltozások egy része csak az élvezeti értéket rontja, más része az ízletességet, míg egyes gombafajok toxintermelésük által állat- és humán egészségügyi problémákat okoznak.

Mikrobiológiai szempontból a takarmányok ártalmasak lehetnek, ha:

- specifikus baktériumtoxint tartalmaz
- nem specifikus mérgező anyagot tartalmaz (biogén aminok)
- az emésztőtraktus normális mikroflórája megváltozik

A specifikus baktériumtoxint a *Clostridium botulinum* és a *Staphylococcus* törzsek által termeltek kivételével a gyomorban elbomlanak. Ennek oka, hogy ezen toxinok 5,5-nél alacsonyabb pH mellett hatástalanná válnak.

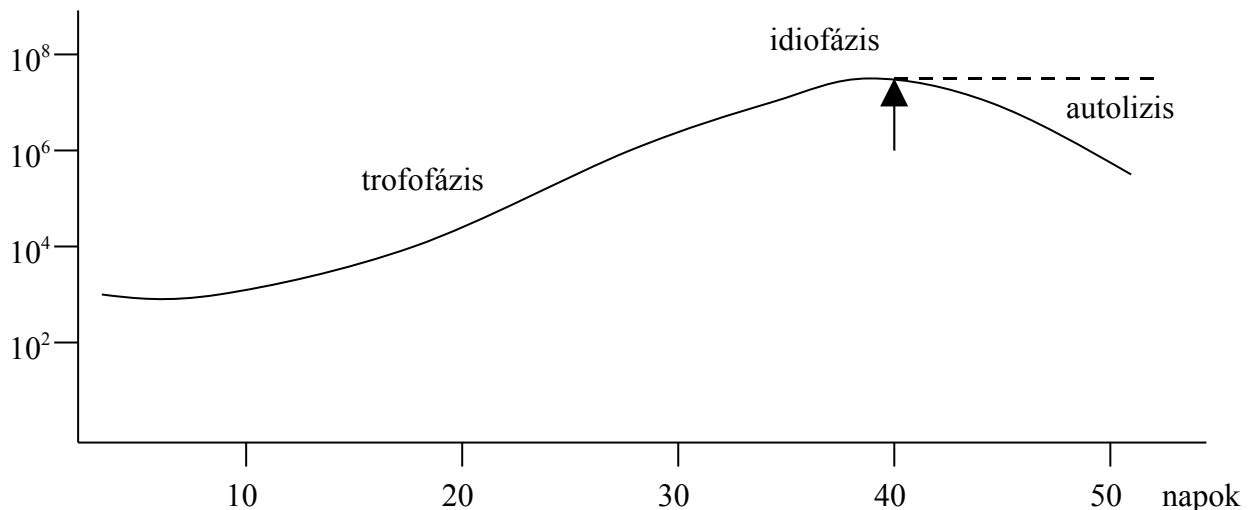
A nem specifikus mérgező anyagok a takarmányok vagy élelmiszerek szénhidrát, zsír és fehérjetartalmának bomlása során keletkeznek. Közülük a legmérgezőbb a fehérjék bomlástermékei. Normális esetben a fehérjék aminosavakig bomlanak, de bizonyos mikrobák hatására az aminosavak is tovább bomlanak. Így alakulhat ki pl. bizonyos fajta gyomor és bélgyulladás, melyek többségét hisztamin hatásnak tulajdonítják.

A takarmányokat szennyező és rontó fonalas gombák

A gombák heterotróf élőlények, ami azt jelenti, hogy szervezetük felépítéséhez és szaporodásukhoz szerves anyagokat használnak fel. A takarmányok és az élelmiszerek kitűnő szervesanyag források a gombák számára, bár a talajban és a légkörben egyaránt előfordulnak. Szaporodásukat az oxigén mennyisége jelentősen befolyásolja, mivel a gombák obligát aerob szervezetek (csak levegő jelenlétében életképesek). Az oxigének kívül a gombáknak természetesen szükségük van még megfelelő mennyiségű és összetételű szubsztrátra, nedvességre, valamint biztosítani kell számukra az optimális hőmérsékletet. Magyarország éghajlati adottságai mellett a termény (élelmiszer) nedvességtartalmának és hőmérsékletének szabályozásával befolyásolhatjuk a gombák szaporodását.

A penészgombák úgynevezett elsődleges vagy primer anyagcseréjük során az osztódó sejtekben állandóan képződő primer metabolitokat termelnek. Ilyen metabolitok a fehérjék, nukleinsavak, zsírok, szénhidrátok szteroidok, melyek létfontosságúak a sejttelepek kifejlődéséhez. A gombák szaporodásának ezt a szakaszát trofofázisnak nevezzük (3. ábra). Ekkor a gombák (az új gombatelepek) száma még folyamatosan növekszik. Igaz nem exponenciálisan (hanem logaritmikusan), mint a baktériumok esetében.

mikrobaszám



3. ábra: Gombák növekedési szakaszai

Bizonyos mikroorganizmusok az osztódásuk alatt képesek úgynevezett másodlagos anyagcserét, szekunder metabolizmust folytatni. Ezen anyagcsere termékei a primer anyagcsere termékeitől kémiai értelemben bonyolultabbak, biológiai aktivitással rendelkezhetnek, a környezetbe kiválasztódnak vagy a sejtekben visszamaradnak, abba beépülnek. A szekunder anyagcsere-termékek leginkább a triketo-ecetsav-ciklusban vagy más néven a poly- β -ketoacil-KoA anyagcsere során képződnek. Az itt keletkező gyűrűs szerkezetű

poliketid vegyületek az egyes mikotoxinok prekursorai. A gombák szaporodásuk során elérnek egy olyan fázist, amikor a képződés és a pusztulás dinamikus egyensúlyba kerül. Ezt a fejlődési szakaszt idiofázisnak vagy stacioner szakasznak nevezzük. Ilyenkor térnek át a szekunder anyagcsere folytatására (vagy zsírszerű primer anyagcseretermékek szintetizálására), mely során antibiotikumok vagy mikotoxinok keletkeznek.

A **mikotoxinok** olyan gombák által termelt szekunder anyagcseretermékek, melyek molekulatömege relatíve kicsi, nem antigén hatásúak, és a magasabbrendű élőlényekre mérgezőek. Amennyiben a toxint a gombaspóra és a micélium tartalmazza, endotoxinról, ha a toxin kimutatható a gomba szaporodási közegéből, akkor exotoxinról beszélünk. Jelenleg legalább 150 különböző mikotoxint tudunk kimutatni, melyek csoportosítása a 3. táblázatban látható.

3. táblázat: A mikotoxinok csoportosítása

Szántóföldi penészek toxinjai	Raktári penészek toxinjai
1. Zearlenon (F-2)	1. Aflatoxin
2. Trichotecének (T-2, HT-2, DAS, DON, NIV, Fusarenon-X, stb.)	2. Ochratoxin
3. Fumonisinok	3. Citrinin
4. Claviceps purpurea toxinja	4. Rubratoxin B
	5. Patulin

Az élelmiszereken és a takarmányokon elszaporodó gombák egészségügyi (állat és humán) szempontból lehetnek atoxikusak vagy toxinogének. Előbbiek jelenlegi ismereteink szerint nem termelnek toxinokat, míg utóbbiak meghatározott körülmények között képesek mérgező anyagok szintetizálására. A toxinogén gombák toxintermelő képessége genetikailag kódolt információ, azonban adott toxinogén faj nem minden izolátuma termel mérgező anyagot, sőt a fajon belül is eltérhet az egyes törzsek toxicitása. A toxicitás mértékét a per os LD₅₀ értékkel fejezzük ki mg/testtömeg kg/nap mértékegységben.

Az élelmiszer vagy takarmány **minőségromlása enyhének tekinthető** ha a mikotoxinok nem termelődnek. Ezt okozhatják atoxikus gombák, toxikus gombák atoxikus törzsei, valamint a toxintermelésre kedvezőtlen feltételek közé került toxinogén törzsek. A toxinnal nem terhelt élelmiszer (takarmány) fogyasztása is káros lehet, mert egyes összetevők (fehérjék, zsírok, stb.) bomlása élettanilag káros hatású vegyületek (biogén aminok, peroxidok, ammónia, stb.) képződésével járnak. A lebomlás miatt a termék energia, tápanyag, vitamin, stb. tartalma jelentősen csökken, ami veszteséget jelent.

A **súlyosabb minőségromlás** esetén a legégetőbb feladat a toxin felvételének megszüntetése. A toxinok az állati szervezeten keresztül indirekt módon az emberi szervezetbe jutva jelentős humán egészségügyi jelentőséggel bírnak. Azt azonban tudni kell, hogy a gombák, és ez által anyagcsere termékeik is, igen széles körben elterjedtek, ezért abszolút toxinmentes alapanyag gyakorlatilag elképzelhetetlen. A defeketes alapanyagok bizonyos korlátozásokkal takarmányozási célra felhasználásra kerülnek.

A fonalas gombák termelte mikotoxinok az állatokon és az emberen mérgezőes tüneteket okoznak, amit mikotokózisnak nevezünk.

A mikotokózisok tünetei gyakran atipikusak, de gondos elemzéssel visszavezethetők a takarmányra, élelmiszere. Igen alacsony dózisokban a tünetek szubklinikaiak. Gyakori tünetek: idegrendszeri zavarok, ösztrogén szindrómák, étvágytalanság, bágyadság, elesettség, fáradtság, hányás, hasmenés, hőemelkedés, takarmány-visszautasítás, ödémaképződés,

bőrelváltozás, vetélés, immunszuppresszió, hemolízis, tumorképződés, hepato-, kardio- és nefrotoxikózis.

A heveny toxikózisok kezdeti stádiumában levertség étvágytalanság tapasztalható. Ezt rövidesen követik az emésztőszervi tünetek, ami lehet hányás, hasmenés, véres széklet ürítése, nyáladás, kólikás tünetek. Bizonyos toxinok esetében bőr berepedezik, hámlik, a péra, a tasak, az ajkak és az orrszárnyak ödémásodnak. Később a máj elfajulás jeleként sárgaság, majd mozgásszervi zavarok, görcsök, nehéz légzés léphet fel. Mindezeket általában hőemelkedés kíséri.

Az idült mikotoxikózisokat leggyakrabban a fejlődésben való visszamaradás útján érzékeljük. A toxikus állapot 1-15 napon belül elhulláshoz vezethet. Ha a toxikus takarmány, élelmiszer etetését megszüntetjük, akkor a tünetek 3-4 napon belül elmúlnak. A tényleges gyógyulás azonban hónapokat vehet igénybe.

Bár a fentiekből is kitűnik, hogy egy-egy toxin számos tünetet okozhat (nem is beszélve a kevert fertőzésről), mégis a toxinoknak megvan a maga főhatása (4. táblázat).

4. táblázat: A mikotoxinok csoportosítása azok főhatása szerint

Főhatás	Toxin	Gombafaj
Hepatotoxikus, hepatokarcinogén	Aflatoxin, sterigmatocisztin	Aspergillus flavus A. parasiticus A. versicolor
Teratogén	Aflatoxin B1 Ochratoxin A Patulin Rubratoxin B	Aspergillus flavus A. parasiticus A. ochraceus Penicillium rubrum P. purpurogenum
Idegrendszeri tünetek	Citreoviridin Patulin Fumonizin	P. citroviride Aspergillus és Penicillium fajok Fusarium moniliforme
Vesekárosító	Citrinin Ochratoxin A	P. citrinum A. ochraceus Penicillium fajok
Bőrproblémák	Trichotecének	Fusarium sp. Stachybotrys sp. Myrothecium sp.
Emetikus	DON, Trichotecének	Fusarium sp.
Ösztrogén hatású	Zearlenon	Fusarium sp.
Tremorogén	Fmitremorogének Penitrem A	A. fumigatus P. cyclopium
Fotoszenzibáló	Pszoralének Sporidezmin	Sclerotinia sclerotiorum Pithomyces chartarum
Hallucinogén-konvulzív	Ergotxin lizergsavamidok	Claviceps sp.

AFLATOXIN

1960-ban figyelték meg először Angliában, amikor a pulykákat fertőzött földidió darát tartalmazó takarmánnyal etették. (turkey X disease). Rákkeltő vegyület. Nevét az *Aspergillus flavus* nevű gomba után kapta. A toxin UV fényben fluoreszkál, ekkor zöld (aflatoxin G1, G2) illetve kék (aflatoxin B1, B2) színű. A tejből kimutatott aflatoxin kékeslilán fluoreszkál és elnevezése Aflatoxin M1 (szarvasmarha) és Aflatoxin M2 (juh).

Kémiai szerkezetét tekintve szubsztituált kumarinszármazékok. Az 1-es indexelt jelölt változatok sokkal mérgezőbbek. Ezek dihidrofurano-furánok, míg a 2-es index-el jelölt terahidrofurán-furánok kevésbé veszélyesek. A legérzékenyebbek erre a toxinra a naposkacsák, pipék, pisztráng, sertés. A fiatal és a vemhes átlatok fokozottan veszélyeztetettek. A csirke és a fácán kevésbé érzékeny erre a toxinra mint a többi madárfaj. A juhok és az egerek ellenállóak. A tünetek kezdetben nem specifikusak; étvágytalanság, fejlődésben való visszamaradás, a bőrön megjelenő anaemia. Post mortem a máj epeútjainak kóros proliferációja, a máj elsárgulása figyelhető meg. Hazai ökológiai viszonyok között az *Aspergillus flavus* nem képes aflatoxint termelni. Ezért a fertőzés ténye valamilyen melegebb éghajlatú országból származó alapanyag felhasználására vezethető vissza.

STACHYBOTRYOTOXIKÓZIS

Termelője a *Stachybotrys alternans* és a *S. atra* nevű a szalmán élősködő gomba. Az ilyen szalma színe sötétberna, fekete a kézre erősen tapad. Először a lovak estek áldozatul ennek a toxinnak, majd később sertéseken is megfigyelték. Tipikus kórforma esetén a vérképző rendszert károsítja, később teljes étvágytalanság alakul ki. Atipikus kórforma esetén az idegrendszeri tünetek kifejezettek és az állat 1-3 napon belül elpusztul. A toxin hőstabil, híg savaknak, emésztőnedveknek, sugárzásnak ellenáll.

A száj és a nyálkahártyák környékén, valamint a bőrön pikkelyes, pörkös elváltozás, orrhurut, ödéma alakul ki, amit az immunrendszer gyengülése kísér.

OCHRATOXIN

Főleg árpan és keveréktakarmányokon fordul elő. Hőmérsékleti optimuma 25 °C. Kémiailag β-fenil-alanin. A legaktívabb az Ochratoxin A. Vesekárosodást, ellenállóképesség csökkenést, termelés-csökkenést, bőr alatti ödémát, ataxiát, görbült hátat okoz. Lassan ürül ki a szervezetből. A felnőtt kérődzők rezisztensek. A hatástalan koncentráció tojótúknál 0,5 mg/kg, sertésnél 0,2 mg/kg.

Az emberben a vese mérete csökken, fibrózis, a kéregállományban a glomerulusok hialinos degenerációja, húgyúti daganatok alakulnak ki.

TRICHOTECÉN VÁZAS TOXINOK

Termelője: valamennyi toxinogén *Fusarium* faj.

Hatásuk:

- Takarmány visszautasítás
- Cytotoxikusak
- Gátolják a fehérjeszintézist
- Károsítják az idegrendszert, az immunrendszert és a parenchymás szerveket
- Befolyásolják az ivarszervek működését

- Gyulladásos elhalásos folyamatokat indítanak el.
- Károsítják a vese kéreg és velő állományát.

Ezen toxinok képesek egymásba átalakulni és inaktiválódni is. A szarvasmarha nem érzékeny rá. Abraktakarmányokon, szemterméseken fordul elő. Először az idegrendszer károsodik. Tünetei: depresszió, hiányos reflexek, remegés, paralízis, mozgászavar.

A sertéseknél a DON remegést, takarmányvisszautasítást eredményezett.

T-2 toxin sertéseknél: takarmány-visszautasítás, bőrgyulladás, immunszuppresszió, az ovuláció elmarad, a kocák nem ivarzanak, késedelmes visszaivarzás, átvágytalanság, hányás, hasmenés, elapasztás.

T-2 baromfiakra: dermatotoxikózis, elhalásos, pörkszerű felrakódás a csőrön, a szájon, szájzugban, nyelven. Idegrendszeri tünetek, csontosodási zavarok, celluláris immunválasz csökken, a lymphoid szervek sorvadnak, reprodukciós zavar, csökken a keltethetőség.

ZEARLENON

Fusarium graminearum, F. culmorum. A toxin kémiai értelemben a rezorcilsav laktonja. Hőstabil. Főleg kukoricán és gabonaféléken fordul elő.

Sertéseknél péra és hüvelyduzzanatot, uterus megnagyobbodást okoz. A belső nemi szervek nyálkahártyáján ödémás beszűrődés, a petefészek és a méh működésének funkcionális aszinkronja, romló vemhesülési ráta, növekvő visszaivarzás, lábszétcsúszás, csecsbimbók izzadmányos pörköls gyulladása figyelhető meg. A fogamzás elmarad, a spermogenezis károsodik, csökken a fialáskori alomnépesség, nő a hallva ellések száma.

Baromfiaknál: károsul a spermogenezis, a csírahám elfajul, az intersticiális sejtek zsíros infiltrációja figyelhető meg. A tyúk nem érzékeny.

FUMONISIN

Fusarium moniliforme termeli. Hőmérsékleti optimuma 20-25 °C. Kémiailag hosszú szénláncú polihidroxi alkilaminok. Károsítja a májat és a vesét. Rákkeltő hatású. Lovaknál leukoencephalomalatiát, sertéseknél tüdőödémát okoz. Embernél a nyelőcsőrák kialakulásában van szerepe. Főleg a gabonafélékben fordul elő.

A mikotoxinok képződésének megelőzése

- Rezisztens gabonafajták termesztése
- Megfelelő agrotechnika
- Növényvédelem
- Tárolási és takarmányozási körülmények optimalizálása.

A toxinnal szennyezett takarmány felhasználása

- Hígítás
- Nem érzékeny állatfajjal, korcsoporttal etetjük
- Immunrendszer erősítés

- Adalékok, takarmánykiegészítők alkalmazása: szelektív semlegesítés, toxinkötés, inaktiválás.