

Chemical contamination of
milk, food safety aspects

Laczaý Péter*
Lehel József
Lányi Katalin
László Noémi

P. Laczaý*
J. Lehel
K. Lányi
N. László

SZIE ÁOTK Élelmiszer-higiéniai Tanszék
H-1078 Budapest, István u. 2.

*e-mail: Laczaý.Peter@aotk.szie.hu

A tej kémiai anyagokkal való szennyeződése, élelmiszer- biztonsági vonatkozások

ÉLELMISZER-
HIGIÉNIA

ÖSSZEFOGLALÁS

A jelen irodalmi összefoglalóban a szerzők áttekintést nyújtanak a nyers tej és az abból előállított tejtermékek testidegen kémiai anyagokkal való szennyeződésének lehetőségeiről és a szennyezők élelmiszer-biztonsági jelentőségéről. Ennek keretében tárgyalják a tejben visszamaradó gyógyszer-maradékanyagok tejhygiéniai fontosságát, kiemelve azok lehetséges egészségkárosító, ill. erjedésgátló hatásait. Ezt követően összefoglalják a tej peszticidmaradékok és különböző környezeti eredetű szennyezők, így egyes nehézfémek és dioxinok okozta szennyeződésének közegészségügyi vonatkozásait. A továbbiakban a mikotoxinok tejhygiéniai jelentőségét tárgyalják, kitérve a valószínűsíthetően a klímaváltozással kapcsolatba hozható aflatoxin-kontamináció kérdésére, majd a biogén aminok és a radioaktív anyagok nyers tejben, ill. tejtermékekben való előfordulásának élelmiszer-biztonsági vonatkozásait ismertetik.

SUMMARY

In this review article the authors highlight the contamination of raw milk and dairy products with different xenobiotics, and the food safety significance of the related contaminants. Concerning the chemical contaminants, first the milk hygiene significance of the veterinary drug residues is discussed, focusing on the public health aspects and the inhibitory effects against starter cultures. Then, the food safety significance of pesticide residues and different environmental contaminants, such as heavy metals and dioxins are outlined. In the following, the authors discuss the milk hygiene significance of mycotoxins, including the problem of the aflatoxin contamination of raw milk in Central Europe probably due to climatic changes, and the food safety aspects of biogenic amines and the presence of radioactive substances in the raw milk and dairy products.

A tejelő állatok szervezetébe részben célzott alkalmazás eredményeként (gyógyszerek), részben pedig a környezet szennyezettsége következtében nagyszámú biológiailag aktív testidegen kémiai anyag (xenobiotikum) juthat. Ezek a vérből kiválasztódva, ill. a tőgybimbón keresztül, intramammalis adagolás során közvetlenül a tejbe is bekerülhetnek, és ily módon potenciálisan kockázatot jelenthetnek a tejet vagy az abból készített tejtermékeket fogyasztók számára. Az állat életében bekövetkező szennyeződés mellett a szennyező anyagok bejuthatnak a tejbe másodlagosan a fejés, a tejkezelés, majd később a feldolgozás során is. Ez utóbbi fázisban a termékek előállításához különböző adalékanyagokat is használhatnak (pl. színezékek, tartósítószer, állományjavítók, édesítő szerek, aromák).

A tejelő állatok szervezetébe és akár a tejbe is nagyszámú biológiailag aktív testidegen kémiai anyag juthat

EU-rendeletek szabályozzák az egyes vegyületsoportok határértékeit a tejben

Mivel a tej kiemelt fontosságú élelmiszer a csecsemők és a gyerekek, de általában az ember táplálkozásában, testidegen kémiai anyagokkal való szennyezettsége is megkülönböztetett figyelmet és szigorú szabályozást igényel. Ez utóbbi magában foglalja a célzott alkalmazás esetén annak meghatározását, hogy az adott vegyület fizikai-kémiai és biológiai tulajdonságai alapján engedélyezhető-e egyáltalán tejelő állatokon való használatra, ill. az engedélyezett szerek és a környezetszennyező anyagok esetében egyaránt megfelelő határértékek és szükség esetén élelmezés-egészségügyi várakozási idők előírását.

A tej **testidegen kémiai anyagokkal** való szennyezettségére vonatkozó jogszabályi előírásokat alapvetően a következő EU-jogforrások tartalmazzák:

- 1881/2006/EK rendelet (mikotoxinok, környezeti eredetű szennyezők),
- 37/2010/EU rendelet (gyógyszer-maradékanyagokra vonatkozó határértékek),
- 396/2005/EK rendelet (peszticidmaradékokra vonatkozó határértékek),
- 2218/89/EGK rendelet (radioaktív szennyezettség).

Az **adalékanyagokra** vonatkozó EU-szabályozást hazánk korábban a Magyar Élelmiszerkönyv I. kötetében kötelező érvényű előírások formájában vette át. Az Európai Unió 2008-ban elfogadott adalékanyag-rendelete, a 1333/2008/EK rendelet ugyanakkor valamennyi uniós tagállamra kötelező hatályú. A szabályozás értelmében a tejiparban csak olyan adalékanyagok használhatók, amelyeket a megfelelő nemzetközi szakmai szervezetek közegészségügyileg aggálytalannak, biztonságosnak minősítettek, és alkalmazásuk javítja a termék táplálkozás-élettani, élvezeti és alkalmassági értékét, azaz annak minőségét.

A tejbe kerülő testidegen anyagok közül gyakorlati szempontból a következő anyagcsoportok jelentősek (14):

- gyógyszerek,
- peszticidek,
- környezeti eredetű szennyezők (nehézfémek, poliklórozott szerves anyagok),
- mikotoxinok,
- biogén aminok,
- radioaktív anyagok.

A GYÓGYSZERMARADÉKOK TEJHIGIÉNYIAI JELENTŐSÉGE

A tőgygyulladások kezelésére intramammalis alkalmazott gyógyszerek közvetlenül megjelennek a tejben. Az előbbiektől mellett a véráramból is bejuthatnak a tejbe a gyógyszerhatóanyagok, ill. metabolitjaik a vér-tej gáton, mint biológiai membránrendszeren keresztül. Mivel az átjutás döntően passzív diffúzió révén mehet végbe, mindez különösen a lipofil, a szervezetben jól megoszló, a vérfe-

1. TÁBLÁZAT. Egyes gyógyszerhatóanyagok tejre és ehető testszövetekre vonatkozó határértékei

TABLE 1. MRL values of some active substances for milk and edible tissues

Hatóanyag	Határérték (µg/kg)	
	Tej	Ehető testszövetek
Benzil-penicillin	4	50
Cefalexin	100	200–1000
Danofloxacin	30	100–400
Klozantel	45	1000–10000
Oxitetraciklin	100	100–600
Tilmikozin	50	50–1000
Triklabendazol	10	100–250
Moxidektin	40	50–500
Ivermektin	–*	30–100
Doramektin	–*	40–150

* Emberi fogyasztásra szánt tejet termelő állatok kezelésére nem használható

A tejelő állatok kezelésekor gondolni kell a tejjel történő kiválasztódás lehetőségére

hérjékhez kevésbé kötődő, a vérben nem ionizált formában található molekulák esetében lehet nagyobb mértékű.

A tejjel történő kiválasztódás lehetőségére ezért a tejelő állatok bármilyen parenteralis vagy jól felszívódó anyaggal történő per os, ill. dermális kezelése után is gondolni kell. Azon hatóanyagok, amelyek a zsírszövetben hosszan perzisztálnak, és a tejjel számottevő mértékben hosszú időn keresztül kiválasztódnak, tejelő állatok kezelésére általában nem használhatók (pl. avermektinek). A többi, a tejjel kiválasztódó, ill. intramammalis alkalmazott hatóanyag esetében pedig a tejre vonatkozó határérték (MRL-érték) meghatározása és azok alapján megfelelő élelmezés-egészségügyi várakozási idők előírása szükséges.

A tejre vonatkozó határértékek sokszor kisebbek, mint az ehető testszövetek esetében, a tejnek és a tejtermékeknek a humán táplálkozásban játszott kiemelkedő szerepe, nagy mennyiségben történő fogyasztása miatt (1. táblázat).

A tejben megjelenő gyógyszermaradékok potenciális **egészségkárosító hatásai** közül kiemelendő egyes vegyületek, mindenekelőtt a penicillinek allergizáló hatása (20). Már 10 NE penicillinmaradék (1 NE benzil-penicillin = 0,6 µg) képes allergiás reakciót kiváltani az előzetesen szenzibilizált szervezetben (22). Jóllehet a penicillinek nagyon kevésbé toxikus vegyületek, a tejre (és az ehető testszövetekre) megállapított MRL-értékük az allergizáló hatásuk miatt igen kicsi (4 µg/kg a tejre, 50 µg/kg az ehető testszövetekre).

Az antibakteriális hatású maradékanyagok gátolják a tejipari starterkultúrák, és ezáltal a tejsavas erjesztett tejtermékek előállítását

Az antibakteriális hatású maradékanyagok gátolják a tejipari starterkultúrák, és ezáltal a tejsavas erjesztett tejtermékek (joghurt, kefir, vaj, sajtok) előállítását (3). Ezeket az anyagokat összefoglalóan **erjedést gátló** tejidegen anyagoknak is nevezzük. Döntő többségük (> 95%-uk) antibakteriális hatású gyógyszermaradvány (főként penicillinek, amelyek már 0,01 NE/ml koncentrációban károsítják a tejsavbaktériumokat), de az erjedés gátlását okozhatják fertőtlenítőszer is, amelyek az edényzetek nem megfelelő öblítése miatt juthatnak a tejbe. A főcs-tejben található nagy mennyiségű laktoferrin ugyancsak gátolhatja az erjedést (19).

A nyers tejből az antibakteriális gátlóanyagok határérték feletti esetleges jelenléte gyorsszűrő (screening) vizsgálatokkal mutatható ki. A gyakorlatban erre a célra elsősorban mikrobiológiai módszereket használnak, amelyek lényege, hogy a gátlóanyagokra érzékeny tesztörzs (pl. *Bacillus stearothermophilus* var. *calidolactis*) fejlődését és anyagcseréjét (pl. savtermelését) vizsgálják standardizált körülmények között (10). A tejmintát a baktériumspórákat és indikátort tartalmazó speciális agarba diffundáltatják. Gátlóanyag hiányában a spórák kicsírázhatnak, vegetatív alakot képeznek, elszaporodnak és savat termelnek,

amit az alkalmazott indikátor színváltozása jelez. A próba csupán a gátlóanyag jelenlétét mutatja ki, de nem ad felvilágosítást annak kémiai jellegéről, szerkezetéről. Specifikusabb, meghatározott csoportba tartozó antibiotikumok jelenlétének kimutatására alkalmasak a különböző ELISA-módszerek (1). A szűrővizsgálati eljárásokkal kapott pozitív vizsgálati eredményeket kémiai (kromatográfiás, spektroszkópiai, elektrokémiai) módszerekkel kell megerősíteni (konfirmatív vizsgálatok).

A gátlóanyagot tartalmazó tej emberi fogyasztásra, ipari feldolgozásra és állatok takarmányozására egyaránt alkalmatlan, azt meg kell semmisíteni.

PESZTICIDMARADÉKOK

Növényvédő, rovar- és rágcsálóirtó szerek szennyezett takarmánnyal vagy ivóvízzel bejuthatnak a tejelő állatok szervezetébe és akár a tejbe is

A kémiai növényvédelemben, ill. a rovar- és rágcsálóirtás céljára használt irtószerek a szennyezett takarmánnyal vagy ivóvízzel történő felvétellel bejuthatnak a tejelő állatok szervezetébe, és esetenként megjelenhetnek a tejben is. Ennek előfeltétele, hogy a kérdéses vegyület legyen lipofil, jól felszívódjon a tápcsatornából, kevésbé metabolizálódjon, és passzív diffúzióval jusson át a tőgy biológiai barrierjén a vérből a tejbe. Mindez a különböző, gyakorlati szempontból lényeges hatóanyagcsoportok közül a klórozott szénhidrogéneket és az idetartozó vegyületek közül is mindenekelőtt a DDT-csoport tagjait (DDT, dieldrin, aldrin stb.) jellemzi.

Ezeknek a vegyületeknek a használatát a világ legtöbb országában több mint 40 éve betiltották. Magyarországon erre 1968-ban, az elsők között került sor. Ugyanakkor jelenleg is több ázsiai és afrikai országban használják a malária és a leishmaniasis elleni védekezésben a vektorok irtására. Az évente felhasznált DDT mennyiségét 4–5000 tonnára becsülik (2).

Jóllehet igen perzisztens (Persistent Organic Pollutants, POP) vegyületek, de mára a szárazföldi környezetben a koncentrációjuk ezeken a területeken olyan alacsony szintre csökkent, ami a tejben határérték feletti szennyeződést gyakorlati körülmények között már nem okoz. A perzisztens klórozott szénhidrogének a **tejzsírban halmozódnak**, ezért a tejtermékek közül a tejszínben és a vajban lehetnek jelen a legnagyobb koncentrációban. Mivel a táplálékláncban is kumulálódnak, az anyatejben a tehéntejnél jóval nagyobb, akár 30-szoros koncentrációban fordulhatnak elő. Ezáltal az anyatej DDT-tartalma a környezet és az élelmiszerek szennyezésének legpontosabb indikátora. Magyarországon a DDT és metabolitjainak az anyatejben mért átlagos koncentrációja az 1970-es években elérte a 340 µg/kg értéket. Jóllehet az átlagérték az ezredfordulóra 25 µg/kg-ra csökkent, de még 2002-ben is mértek azt jóval meghaladó egyedi értékeket is (17). Azaz a DDT és metabolitjainak a mennyisége az elmúlt négy évtized alatt jelentősen csökkent, de az adatok tanúsága szerint még mindig kimutathatók lehetnek az anyatejből.

A szerves foszforsavészterek és különösen a piretriinek és piretroidok a kérődzők szervezetében gyorsan metabolizálódnak, a tejben számottevő koncentrációban jellemzően nem jelennek meg. A peszticidek tejszínre vonatkozó határértékeit a **2. táblázat** szemlélteti.

Vegyület	Határérték (mg/kg)
DDT*	0,04
Aldrin, dieldrin*	0,006
HCH gamma izomer (Lindan)*	0,001
Endoszulfán	0,05
Szerves foszforsavészterek	0,01–0,05
Piretriinek, piretroidok	0,02–0,05

* Betiltott hatóanyagok

2. TÁBLÁZAT. *Peszticidek tejszínre és tejtermékekre vonatkozó határértékei*

TABLE 2. *MRL values of pesticides for milk and dairy products*

KÖRNYEZETI EREDETŰ SZENNYEZŐK

A környezeti eredetű szennyező anyagok közül a toxikus nehézfémek és a dioxinok, valamint a dioxinszerű poliklórozott szerves vegyületek lehetnek jelentősek.

A nehézfémek, amennyiben felszívódnak a tápcsatornából, bejuthatnak a tejbe is

TOXIKUS NEHÉZFÉMEK

Az idetartozó anyagok közül a **kadmium** és az **ólom** az emésztőcsatornából általában csak csekély mértékben (< 10%) szívódnak fel. Mindkettő kumulálódik a szervezetben, és képes a tejbe is átjutni. Ennek mértéke azonban – a környezet nagyfokú szennyezettségét kivéve – általában nem jelentős. Felmérések szerint az EU-tagállamokban az emberi szervezetbe jutó kadmium mennyiségének 3–6%-a származik legfeljebb a tejjel és tejtermékekkel történő felvételtől, és körülbelül hasonló a helyzet az ólom esetében is (6, 7). A jelenleg hatályos 1881/2006/EK rendelet a tejjel és tejtermékekre vonatkozóan nem tartalmaz határértéket a kadmiumra, ugyanakkor az ólomnak a nyers tejben, a hőkezelt tejben és tejalapú termékek előállítására használt tejben való határértékét 0,02 mg/kg-ban határozza meg.

A lipoidoldékony **metil-higany** a tápcsatornából jól felszívódik, a különböző biológiai barrieréken, így a vér-tej gáton is jól átjut, és a tejben is megjelenhet. A szárazföldi környezet csekély metil-higany-szennyezettsége miatt gyakorlati körülmények között a tejben megjelenő koncentrációk szintén igen kicsik, és legfeljebb 10%-ban járhatnak hozzá az emberi higanyterheléshez (9). Nyers tej és tejtermékek higanyszennyezettségére vonatkozó határértéket a 1881/2006/EK rendelet nem tartalmaz.

POLIKLÓROZOTT SZERVES SZENNYEZŐK

A poliklórozott **dioxinok, furánok és bifenilek** a korábban tárgyalt klórozott hatóanyagú peszticidekhez hasonlóan erősen lipofil, perzisztens, a környezetben az állati és az emberi szervezetben, valamint a táplálékláncban felhalmozódásra hajlamos szerves szennyezők (12). Az emberi szervezetbe elsősorban az állati eredetű élelmiszerekkel, többek között a tejjel és egyes tejtermékekkel (főként tejszín, vaj, sajt) jutnak. Felmérések szerint a tej és tejtermékek dioxin-szennyezettsége az elmúlt 10 évben jóllehet számottevően csökkent, de a tejtermékek (vajak, sajtok) szennyezettségének átlagos értéke 2008–2010 között még így is közel 1 pg/g volt (8). Ez ugyan kisebb, mint a 1881/2006/EK rendeletben a dioxinokra meghatározott, tejszírra vonatkoztatott 2,5 pg/g határérték (TCDD-egyenértékben kifejezve), azonban az egyedi értékek meghaladhatják a dioxin-szennyeztség csökkentésére javasolt 1,75 pg/g-os beavatkozási szintet. A tej és a tejtermékek a csecsemők és a gyerekek esetében a dioxinexpozíció legfőbb forrásai (25–50%), de felnőtteknél is jelentős (átlagosan 10–20%) a részarányuk. A dioxinok és dioxinszerű PCB-k összegének tejjel és tejtermékekre vonatkoztatott, TCDD-egyenértékben kifejezett határértéke 5,5 pg/g zsír.

A poliklórozott szerves szennyezők leginkább kontaminált tej és tejtermékek révén juthatnak az emberi szervezetbe

MIKOTOXINOK

Jóllehet a mikotoxinok elsősorban a toxinnal szennyezett növényi élelmiszerekkel juthatnak a fogyasztó szervezetébe, egyesek a kontaminált takarmányt fogyasztó állatból származó termékekkel, így a tejjel is bekerülhetnek az emberi szervezetbe. A toxinok megjelenése a tejben a tápcsatornából történő felszívódásuk mértékétől, a szervezetben való megoszlásuktól, biotranszformációjuktól és kiválasztódásuktól függ. Ez utóbbi passzív diffúzióval, intracelluláris filtrációval vagy aktív transzport útján valósulhat meg.

Egyes mikotoxinok a tej útján is képesek ürülni

Az élelmiszer-biztonsági szempontból lényeges mikotoxinok közül az aflatoxin B₁ és B₂, az ochratoxin A és a zearalenon lehet jelentős, mint a tejben változatlan vagy metabolitjai formájában megjelenő szennyező (13).

Az **aflatoxin** B₁ és B₂ a tejelő állatok szervezetében részben 4-hidroxi-metabolitokká oxidálódnak, amelyeket „milk toxinak”, M₁-nek és M₂-nek nevezünk. Általában a takarmányban található toxin 1–3%-a választódik ki a tejjel. A takar-

mánnal történt felvétel után az M_1 és M_2 toxinok 12–24 órával jelennek meg a tejben, és a szennyezett takarmány etetésének befejezése után 1–4 nappal csökken számottevően a tejbe jutó mennyiségük. Lineáris összefüggés mutatható ki a takarmányok B_1 -szennyezettsége és a tej M_1 -tartalma között, az alábbiak szerint (21):

M_1 -koncentráció (ng/kg) a tejben = $[1,19 \times B_1\text{-felvétel} (\mu\text{g/tehen/nap})] + 1,9$.

Annak érdekében, hogy a tej aflatoxin M_1 szennyezettsége ne haladja meg a vonatkozó határértékszintet (0,05 $\mu\text{g/kg}$), a tejelő tehenek naponta legfeljebb 40 μg aflatoxin B_1 mérgeanyagot vehetnek fel. Ez napi 12 kg/állat koncentrátum felvételével számolva 3,4 $\mu\text{g/takarmány kg}$ maximális aflatoxin-szennyezettséget jelent.

Az aflatoxin M_1 pasztőrözéssel nem inaktiválható, és a savanyított tejtermékekben is viszonylag stabil. Mivel a tejszírből nem oldódik, főként a fölözött tejben, a savóban, ill. az íróban marad vissza. A vajgyártás során az M_1 kb. 10%-a jut át a tejszínbe, és ennek is csupán 10%-a jelenik meg a vajban, a többi az íróba kerül (23).

Az aflatoxin M_1 a B_1 -hez hasonlóan genotoxikus karcinogén, de rákkeltő potenciálja kb. egy nagyságrenddel kisebb, mint a B_1 -toxiné (15).

A 1881/2006/EK rendelet előírásai szerint az aflatoxin M_1 -határértéke a nyers tejben, a hőkezelt tejben és a tejalapú termékek előállítására használt tejben 0,05 $\mu\text{g/kg}$.

A tej aflatoxin-szennyezettsége Közép-Európában az elmúlt évekig nem jelentett tényleges kockázatot. Az utóbbi években viszont Magyarországról, ill. Horvátországból, Szerbiából, Szlovéniából származó nyers tejből is mutattak ki határérték feletti M_1 -szennyezést (16, 18).

Egyúttal egyre több adat látott napvilágot arra vonatkozóan, hogy az aflatoxinokat termelő aspergillusok a trópusi, szubtrópusi országokban termelt fehérjehordozó növények (pl. földimogyoró, pisztácia, szója, rizs) mellett a mérsékelt égövi gabonánövényeket, mindenképp a kukoricát is fertőzhetik, és azokon toxint is termelhetnek. Az elmúlt években Magyarország különböző területeiről vett mintegy 100 kukoricaminta 65%-ából tenyésztettek ki *Aspergillus flavus* penészgombákat, és az izolátumok 42%-a termelt 5 $\mu\text{g/kg}$ feletti mennyiségben B_1 -toxint. Hasonló eredményekről számoltak be az Olaszországban, Bulgáriában, Horvátországban vagy Szerbiában végzett vizsgálatokban is (4).

A fentiek valószínűleg a klímaváltozással, a globális felmelegedéssel hozhatók kapcsolatba. A nyári hőségnapok számának növekedése különösen az öntözött, táperőben szegényebb talajokon kedvező feltételeket teremthet a kukoricaszemek aspergillusfertőződéséhez (16), amit egyéb tényezők (pl. nagy tőssűrűség, a szemek rovarkártevők okozta sérülései) is elősegíthetnek.

Az **ochratoxin A** (OTA) is potenciálisan átjuthat a tejbe, de főként az anyamolekulából a bendőben képződő, annál kevésbé toxikus OTA α metabolitja révén (21). A tejre, ill. tejtermékekre vonatkozóan nincs határérték előírva.

A **zearalenon** (ZEN) ugyancsak megjelenhet a tejben, részben metabolitjai formájában (α - és β -ZEN). A tejjel történő kiválasztódás mértéke azonban csekély, mindössze a felvett toxin 0,01–0,05%-a, és ily módon valószínűleg nem jelent kockázatot a fogyasztóra.

Az egyéb fuzariotoxinok közül a deoxinivalenol (DON) és a fumonizin B_1 gyakorlatilag nem jelenik meg a tejben, a T-2 toxin esetében a kiválasztódás mértéke pedig igen csekély. A fuzariotoxinok tejben való előfordulására határérték nincs előírva.

BIOGÉN AMINOK

A biogén aminosavak többnyire mikrobiális dekarboxilációja során keletkező fehérjebomlás-termékek. A tejben általában kis mennyiségben találhatók,

Az aflatoxin B_1 , B_2 , az ochratoxin és a zearalenon a legjelentősebb, tejjel is ürülő mikotoxinok

3. TÁBLÁZAT. Sajtokban előforduló biogén aminok**TABLE 3.** Biogenic amines in cheese

Biogén amin	Aminosav	Baktériumfaj
Hisztamin	hisztidin	<i>Lactobacillus</i> spp. (<i>L. buchneri</i>)
Tiramin	tirozin	<i>Enterococcus</i> spp. (<i>E. faecalis</i> , <i>E. faecium</i>) <i>Lactobacillus</i> spp. (<i>L. brevis</i>)
Fenil-etil-amin	fenil-alanin	<i>Enterococcus</i> spp. (<i>E. faecalis</i> , <i>E. faecium</i>)
Kadaverin Putreszcín	lizin ornitin	<i>Enterobacteriaceae</i> (<i>E. coli</i> , <i>Enterobacter aerogenes</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i>)

de egyes sajtok nagyobb mennyiségben tartalmazhatnak biogén aminokat, jóllehet a legtöbb esetben a koncentrációjuk < 10 mg/kg. A sajtokban potenciálisan előforduló biogén aminokat és az azokat termelő fontosabb mikroorganizmusokat a 3. táblázat szemlélteti (14).

Az aminképző baktériumok főként a nyers tejben található meg nagyobb számban, így az abból készített sajtok rendszerint több biogén aminot tartalmaznak, mint a pasztörözött tejből előállítottak. Aminképző mikrobák ugyanakkor bejuthatnak a sajtba a gyártás során is az alkalmazott gépek, eszközök felületéről, valamint maguk a starterkultúrák is hozzájárulhatnak egyes biogén aminok képződéséhez. A mikrobáknak ugyanakkor legalább 10^6 sejt/g számban kell a sajtban elszaporodniuk. A megfelelő, higiénikus sajtgyártás során az enterobaktériumok ilyen számban nem tudnak elszaporodni, így gyakorlati körülmények között elsősorban a tejsavbaktériumok és az enterococcusok jöhetnek számításba mint aminképzők. Elszaporodásuk és dekarboxiláz-aktivitásuk alapvetően az érés hőmérsékletének, pH-értékének és az alkalmazott konyhasótartalmuknak a függvénye. Ezek a paraméterek egy-egy sajtfeleség esetében azonban alig változtathatók, ezért a biogén aminok képződését elsősorban az aminképző csírák számának csökkentésével és biogén aminokat nem képző starterkultúrák (különösen *Lactococcus* és *Lactobacillus* spp.) alkalmazásával mérsékelhetjük. Az aminképző csírák számát az alapanyag pasztörözésével, valamint a helyiségek, eszközök megfelelő tisztításával és fertőtlenítésével minimalizálhatjuk. A nyers tejből előállított sajtok esetében kiemelt fontosságú a fejes és tejkezelés higiénája, és ezáltal az alapanyag minél alacsonyabb mikrobataralma. A hisztaminképződés mértéke csökkenthető megfelelő, aminképző tulajdonságot nem mutató mezofil *Lactobacillus*-kultúra hozzáadásával, ami gátolja az originális hisztaminképző *Lactobacillus*-flórát.

A biogén aminokat tartalmazó élelmiszerek fogyasztása általában nem jelent veszélyt az emberre, mivel a bélcsatornában enzimatis hatásra lebomlanak, és a vizelettel kiválasztódnak. Hirtelen nagy mennyiségű amin felvétele, vagy a méregtelenítő folyamatok nem megfelelő működése esetén (pl. emésztőszervi betegségek, genetikai okok) viszont a biogén aminok felszívódhatnak, és klinikai tünetekben megnyilvánuló mérgezést okozhatnak.

Ennek tünetei a kiváltó ágenstől függően eltérőek lehetnek. Hisztamin esetében vérnyomáscsökkenés, légzési nehézségek, csalánkiütés, émelygés, hasmenés, tiramin és fenil-etilamin okozta esetekben pedig erős fejfájás, hányás, szapora szívverés, vérnyomás-emelkedés, látási zavarok. Általában nem okoz még káros hatást az étkezésenként felvett 50 mg hisztamin, ill. 600 mg tiramin, bár ez utóbbi mennyiségét számottevően csökkentheti a monoamino-oxidáz gátló gyógyszerek egyidejű alkalmazása (5).

Az élelmiszerek maximálisan megengedhető biogén amin tartalmát a 2073/2005/EK rendelet szabályozza, ami csak halászati termékekre tartalmaz határértékeket (100–400 mg hisztamin/kg). Sajtokra vonatkozóan a korábbi,

A nyers tejből készülő sajtok nagyobb mennyiségben tartalmaznak biogén aminokat

Az aminképző baktériumok száma pasztörözéssel, valamint a helyiségek, eszközök megfelelő tisztántartásával csökkenthető

jelenleg már nem hatályos hazai szabályozás (17/1999. (VI. 16.) EüM rendelet) állapított meg toleranciaszintet, 200 mg hisztamin/kg értékben.

RADIOAKTÍV ANYAGOK

A környezetünkben mindenütt jelen levő, természetes radioizotópok (K-40, Bi-214, TI-205) következtében a tejben, mint minden élelmiszerben, kimutatható egy adott háttéraktivitás. Ennek azonban nincs semmilyen egészségügyi kockázata, hiszen ehhez hozzászokott, adaptálódott a Föld élőrendszere. Ugyanakkor a légköri atomrobbantások vagy reaktorbalesetek szennyezhetik a légkört, a talajt, a természetes vizeket és az élőlényeket mesterséges radioizotópokkal. Ezek biológiai hatását alapvetően befolyásolja sugárzásuk minősége, energiája, felezési idejük és azon biológiai szövetekkel való kölcsönhatás jellege, amiben kumulálódnak (pl. a I-125, I-131 a pajzsmirigyben, a Sr-90 a csontozatban).

A tejet esetlegesen szennyező radioizotópok a tej fehérjéjéhez (kazeinek, albuminok) kötődnek. A tejben potenciálisan jelen levő és ellenőrzött mesterséges radioizotópok jellemzőit a 4. táblázat mutatja be (11, 14).

A mesterséges radionuklidok közül a **I-131** a tejelő állatok tejmirigyében kumulálódik, és a tejjel jelentős mennyiségben választódik ki. Felezési ideje rövid (8 nap), ezért szennyező, valamint károsító hatása – ami elsődlegesen a pajzsmirigy működési zavarában és morfológiai elváltozásában jut kifejezésre – is akut jellegű.

A **Cs-134** izotóp felezési ideje kb. 2 év, a **Cs-137** izotópé viszont mintegy 30 év. Élelmiszer-toxicológiai szempontból főként ez utóbbi jelentős. A tejelő állatok szervezetébe a radioaktív felhőből származó por vagy kimosódás révén a növények felületéről, ill. a gyökérzet által a talajból való felvételt követően, azok szövetéből juthat. A gyomor-bél csatornából jól felszívódik, és a szervezetben a káliumhoz hasonlóan viselkedik, a tejjel is kiválasztódik. A talajban igen lassan bomlik le, de a pH > 5,5 kémhatású talajokhoz erősen kötődik, és a növények ilyen körülmények között alig tudják felvenni. Mivel a haszonnövények termőterületein a talaj pH-értéke rendszerint > 5,5, az innen származó növényi és állati eredetű élelmiszerek, így a tej esetében is egy esetleges nukleáris baleset után főként csak az első évben kell jelentősebb kontaminációval számolni. Erdős területeken viszont a humuszrétegben felhalmozódhat a Cs-137 izotóp, és az ott termő, vadon élő gombák jelentősebb szennyeződését okozhatja.

A Sr-90 izotóp felezési ideje ugyancsak igen hosszú (28 év). A kalciumhoz való kémiai hasonlósága miatt a csontokban halmozódik, és a sugárhatás miatt a csontvelő károsodását, leukémiás elváltozásokat okozhat. Az állati eredetű élelmiszerek közül főként a tejben és tejtermékekben jelenhet meg számottevő koncentrációban.

Összességében a tej számos testidegen kémiai anyag forrása lehet, de ezen szennyezők által okozott élelmiszer-biztonsági kockázat napjainkban általában csekélynek minősíthető.

Az élelmiszer-toxicológiai szempontból legjelentősebb, Cs-137 izotóp leginkább a pH 5,5-nél savasabb kémhatású talajból kerülhet be a növényekbe

4. TÁBLÁZAT. A tejben potenciálisan megjelenő mesterséges radioizotópok

TABLE 4. Radionuclides that may contaminate the milk

Csoport	Radioizotóp	Felezési idő	Határérték (Bq/kg)*
Rövid, ill. közepes felezési idejűek	I-131 Cs-134	8 nap 2,19 év	500 1000
Hosszú vagy ultrahosszú felezési idejűek	Sr-90 Cs-137	28 év 30 év	125 1000

* 2218/89/EGK (Euratom) rendelet szerint

IRODALOM

1. BANG-CE, Y. – SONGYANG L. et al.: Simultaneous detection of sulfamethazine, streptomycin and tylosin in milk by microplate-array based SMM-FIA. *Food Chem.*, 2008. 106. 797–803.
2. VAN DEN BERG, H.: Global status of DDT and its alternatives for use in vector control to prevent disease. *Environ. Health Perspect.*, 2009. 117. 1656–1663.
3. COGAN, T. M.: Susceptibility of cheese and yoghurt starter bacteria to antibiotics. *Appl. Microbiol.*, 1972. 23. 960–965.
4. DOBOLYI C. – SEBŐK F. et al.: Aflatoxint termelő *Aspergillus flavus* törzsek előfordulása a hazai kukorica szemtermésben. *Növényvédelem*, 2011. 47. 125–133.
5. EFSA (European Food Safety Authority): Scientific opinion on risk based control of biogenic amine formation in fermented foods. *EFSA Journal*, 2011. 9. 2393. (93 pp).
6. EFSA (European Food Safety Authority): Cadmium dietary exposure in the European population. *EFSA Journal*, 2012. 10. 2551. (37 pp).
7. EFSA (European Food Safety Authority): Lead dietary exposure in the European population. *EFSA Journal*, 2012. 10. 2831. (59 pp).
8. EFSA (European Food Safety Authority): Update on the monitoring levels of dioxins and PCP in food and feed. *EFSA Journal*, 2012. 10. 2832. (82 pp).
9. EFSA (European Food Safety Authority): Scientific opinion of the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food. *EFSA Journal*, 2012. 10. 2895. (43 pp).
10. HENNART, S. L. – FARAGHER, J.: Validation of the Delvotest SP NT DA Performance Tested Method 011101. *J. AOAC Int.*, 2012. 95. 252–260.
11. IAEA: *Measurement of radionuclides in food and the environment*. A guidebook. International Atomic Energy Agency. Vienna, 1989.
12. LACZAY P.: Állati eredetű élelmiszereink kémiai-toxikológiai biztonsága. 2. Környezeti és technológiai eredetű szennyezők. *Magy. Állatorv. Lapja*, 2004. 126. 237–246.
13. LACZAY P.: Állati eredetű élelmiszereink kémiai-toxikológiai biztonsága. 3. Biológiai eredetű szennyező anyagok. *Magy. Állatorv. Lapja*, 2004. 126. 371–380.
14. LACZAY P.: Tejtermelési higiénia. In: uő: *Élelmiszer-higiénia, élelmiszerlánc-biztonság*. Második, átdolgozott kiadás. Mezőgazda Kiadó. Budapest, 2015. 245–312.
15. PRANDINI, A. – TANSINI, G. et al.: On the occurrence of aflatoxin M₁ in milk and dairy products. *Food Chem. Toxicol.*, 2009. 47. 984–991.
16. RAFAI P.: Az aflatoxin megjelenése hazánkban. In: BRYDL E. – RAFAI P.: *Öt évtized a magyar mezőgazdaság szolgálatában*. A/3 Nyomda. Budapest, 2012. 119–126.
17. SOHÁR J. – MATYASOVSKY K. et al.: *A POP-ok környezet-egészségügyi jelentősége, élelmiszerekben mérhető szintjeik és egészségügyi kockázatuk*. Összefoglaló. Fodor József Országos Közegészségügyi Központ. Budapest, 2003.
18. SZEITZNÉ SZABÓ M.: *Az aflatoxin M₁ kockázatának nemzetközi megítélése*. Az aflatoxin M₁ megjelenés élelmiszerekben – kockázat, mérés, önellenőrzés. Wessling Szakmai Nap, Budapest, 2012. november 28.
19. TAMIME, A. Y.: Microbiology of starter cultures. In: ROBINSON, R. K. (ed.): *Dairy Microbiology Handbook*. John Wiley and Sons. New York, 2002. 261–366.
20. DE WECK, A. L.: Penicillins and cephalosporins. In: DE WECK, A. L. – BUNGARD, H.: *Allergic reactions to drugs*. Springer Verlag. Berlin, 1983. 423–482.
21. WHO: Evaluation of certain mycotoxins in food. *WHO Technical Report Series*, No. 906. Geneva, 2002.
22. WICHER, K. – REISMAN, R. E. – ARBESMAN, C. E.: Allergic reaction to penicillin present in milk. *J. Am. Med. Assoc.*, 1969. 208. 143–145.
23. YOUSEF, A. E. – MARTH, E. H.: Stability and degradation of aflatoxin M₁. In: VAN EGMOND, H. P. (ed.): *Mycotoxins in Dairy Products*. Elsevier. Amsterdam, 1989. 127–161.

Közlésre érke.: 2015. júl. 6.