

Életviteli termékek, élelmiszer-adalékanyagok

Ebbe a csoportba azok a szintetikus szerves és szervetlen anyagok tartoznak, amelyek az emberi életvitelből adódóan kerülnek a környezetbe. Idetartoznak az *élelmiszer-adalékok* (például édesítőszer, tartósítószer) és a *stimulálószer* (például koffein, nikotin).

Az élelmiszeripar fejlődésével együtt jár azoknak az adalékanyagoknak a kifejlesztése, felhasználása, amelyek a változó társadalmi igények kielégítésére (például gyorsételek, tartós élelmiszerek, alacsony cukortartalmú vagy cukormentes élelmiszerek) szolgálnak. Az élelmiszer-adalékok természetes vagy mesterséges anyagok, amelyek az élelmiszerekben találhatók néhány mg/kg-tól az élelmiszer tömegének 1%-áig terjedő mennyiségben. Közvetlenül vagy közvetve kerülnek az élelmiszerekbe, céljuk a tárolhatóság növelése, az állag javítása vagy változtatása, az íz fokozása és a szín javítása vagy megtartása. Két fő csoportjukat különböztetjük meg: 1. a *közvetlen adalékanyagokat* kontrollált mennyiségben, célzottan az élelmiszerekhez adják, 2. az *indirekt adalékanyagokat* kisebb mennyiségben, jellemzően a csomagolás és feldolgozás során kerülnek az élelmiszerekbe [62, 63].

A szintetikus, szerves élelmiszer-adalékokat sok funkcionális osztályba sorolja a Codex Alimentaris Standard CAC/GL 36-1989, ezek közül néhány [62, 63]:

- savanyúságot szabályozó anyagok,
- csomósodást gátló anyagok,
- habzástgátló anyagok,
- antioxidánsok,
- színezékek,
- emulgeálószer,
- szilárdító anyagok,
- stabilizálószer,
- sűrítőanyagok,
- tartósítószer,
- fényezőanyagok,
- kötőanyagok,
- édesítőszer,
- ízfokozók.

Az élelmiszer-adalékanyagok többségének használata teljesen veszélytelen, míg egyes adalékanyagok használatát szigorúan szabályozzák (A Bizottság 1129/2011/EU Rendelete) a nagyobb mennyiségben egészségre káros voltok miatt (például aszpartám [64]), illetve egyes élelmiszer-adalékok perzisztens jellegük miatt (például szukralóz, aceszulfám-K [65]) aggodalomra adnak okot, és mint szerves mikroszennyezők megtalálhatók a környezetben.

Az élelmiszer-adalékok közül elsősorban a kalóriamentes *mesterséges édesítőszer*et (NNS, *non-nutritive sweeteners*) tekintik új szennyezőnek, de egyes szakirodalmi források a *triacetint* (E1518, nedvesítőszer, hordozóanyag rágógumik ízesítésére), illetve a két fenolos antioxidáns, a *BHA*-t (butil-hidroxi-anizol, E320) és *BHT*-t (butil-hidroxi-toluol, E321) is új szennyezőként tartják számon [4]. A mesterséges édesítőszeret széles körben használják az emberi és állati táplálkozásban, a következőkben ezen élelmiszeradalékanyag-csoport tulajdonságait mutatjuk be.

A mesterséges édesítőszer (NNS) és a stimulálószer fizikai-kémiai tulajdonságai

Az NNS-csoport tagjai szintetikus úton előállított, édes ízű, szerves vegyületek, de nem szénhidrátok. Mivel szénhidrátként nem tudja őket felhasználni a szervezet, a belőlük származó energia jelentéktelen (innen ered angol elnevezésük), nincs glikémiás hatásuk, nem indukálnak inzulintermelést, így a cukorbeteg is fogyaszthatja. Emiatt gyakran nagy mennyiségben adják az élelmiszerekhez, azonban kevés információ áll rendelkezésre az esetleges egészségügyi következményeiről és ökotoxikológiai hatásairól [66].

A leggyakrabban használt mesterséges édesítőszer közül a szukralózt, az aceszulfámot és az aszpartámot használják a legnagyobb mennyiségben élelmiszer-adalékanyagként.

Az aceszulfám káliumsója (aceszulfám-K, E950), az egyik legismertebb mesterséges édesítőszer. Fehér, kristályos por, vízben jól oldódik. A háztartásokban alkalmazott cukornál (szacharóz) 200-szor édesebb. Nagyobb koncentrációban enyhén kesernyész utóíze van. Gyakran keverik más édesítőszerrel (aszpartámmal, szukralózzal), ami olyan hatást eredményez, ahol az egyes komponensek elnyomják egymás utóizét, és sokkal édesebb keveréket kapunk, mint amelyet az alkotórészek külön-külön adnak. Mivel hőálló, ezért alkalmas főzéssel, illetve sütéssel feldolgozott alapanyagok édesítésére is. Savas vagy lúgos közegben is stabil, hosszabb idejű tárolás során sem bomlik el. Mindezekből adódóan alkalmazzák cukormentes gyümölcs- és zöldségkonzerveknél, lekvároknál, dzsemeknél, csokoládéknál, mustároknál, szószoknál, italoknál, szájvizekben, fogkrémekben és gyógyszerekben is. A szervezet nem metabolizálja, a bélből gyorsan felszívódik, és a vesékben változatlan formában választódik ki [66, 67].

Az aszpartám (APM, E951) két, a természetben megtalálható aminosavból (aszparaginsav, fenilalanin) létrejött dipeptidnek a metil-észtere, így emésztéskor ezen vegyületekre, valamint metanolra bomlik. Elnevezése (APM) a kémiai szerkezetére utal: aszpartil-fenilalanin-metilészter. Színtelen, kristályos anyag, vízben kevésbé, etilalkoholban jól oldódik. Vizes oldata gyengén savas kémhatású, a savas pH a vízzoldhatóságát jelentősen javítja, ezért alkalmas üdítők és szörpök ízesítésére is. Elsősorban édesítőtabletták, üdítőitalok, rágógumik, joghurtok, gyümölcskészítmények édesítésére alkalmazzák [66, 67, 68].

A ciklamátok (E952) a ciklaminsav (ciklohexil-szulfaminsav, ciklohexil-kénsav-amid) nevű szerves sav sói, amelyek közül a nátrium-ciklamátot és a kalcium-ciklamátot alkalmazzák édesítőszerként. Mindkét só vízben jól oldódó, fehér, édes ízű, kristályos anyag. Nincs kesernyész utóízük, a szacharóznál sokkal édesebbek. Hőállóak, és más édesítőszerrel (leggyakrabban szacharinnal) is kombinálhatók. Az emberi szervezetben csekély mértékben a bélben metabolizálódhat, általában a vesén keresztül változatlanul választódik ki. Ciklamátokat használnak italok, lekvárok, gyümölcskonzervek és gyógyszerek ízesítésére [66, 67].

A szacharin (E954) kémiai neve: szulfobenzamid. A legrégebben használt édesítőszer, édesítőereje 350-szerese a szacharózénak. Nagyon stabil, hosszú eltarthatóságú, alkalmas főzéssel, illetve sütéssel készülő ételek édesítésére is. Hátránya, hogy hideg vízben rosszul, forró vízben mérsékelten oldódik, valamint kesernyész a mellékíze, amely erősebb melegítés, forralás hatására felerősödik. Mindezekből kifolyólag általában a vízben jól oldódó sóit (elsősorban a nátrium-sóját, a krisztallózt), illetve a keserű mellékízt elnyomó egyéb édesítőszerrel (leggyakrabban nátrium-ciklamáttal) keverve alkalmazzák. Használják konzervek, alkoholos és alkoholmentes italok, táplálékkiegészítők ízesítésére. A bélből nagyon gyorsan felszívódik, mivel az emberi szervezet nem képes lebontani, változatlan formában ürül a vizelettel, kisebb részben a széklettel [66, 67, 69].

A szukralóz (E955) kémiai neve: trikloro-szacharóz. Fehér, kristályos anyag, vízben jól oldódik. Az édesítőszer legfiatalabb képviselője, egy olyan szintetikus vegyület, amelyet közvetlenül a szacharózmolekulából állítanak elő azáltal, hogy három hidroxilcsoportját klóratommal helyettesítik. A szacharóznál sok százszor édesebb vegyület, aminek előnye a tiszta íz, a stabilitás savas és lúgos oldatban, valamint magas hőmérsékleten. Tehát tárolhatóság és felhasználhatóság tekintetében egyaránt rendkívül jól használható anyag. Csak nagyon kis mértékben metabolizálódik az emberi szervezetben, többnyire fel sem szívódik, és változatlan formában kiválasztódik a széklettel, csekély felszívódó hányada nem toxikus összetevőkre bomolva a vizelettel távozik. Italok, édességek, konzervek, táplálékkiegészítők ízesítésére használják [66, 67].

A környezetben is megtalálható és új szennyezőnek tekintett életviteli anyagok a *stimulálószer*ek. Ezek olyan pszichoaktív anyagok, amelyek átmenetileg javítják a test mentális és/vagy fizikai állapotát azáltal, hogy növelik a perifériás és központi idegrendszer aktivitását [4]. A két leggyakrabban használt stimulálószer a koffein és a nikotin.

A *koffein* az alkaloidok közé tartozó szerves vegyület, alapváza két N-tartalmú aromás gyűrűből (pirimidin és imidazol) áll, kémiai neve: trimetil-xantin. Fehér, kristályos vegyület, keserű íze van. Hideg vízben és alkoholban rosszul, forró vízben jól oldódik. Üdítőitalok és nagyobb mennyiségben az energiaitalok készítésénél használják. Természetes módon előfordul a kávéban, teában, kisebb mennyiségben a csokoládéban és a kakaóban. A koffein a világ leggyakrabban használt stimulálószer, széles körben megtalálható a vízi és a szárazföldi környezetben, az antropogén szennyezés indikátoraként szokták használni [4, 67].

A *nikotin* az alkaloidok közé tartozó szerves vegyület, kémiai neve: metil-pirrolidinil-piridin (alapváza két N-tartalmú gyűrű, a pirrol és a piridin összekapcsolódásával jön létre). Több növény levelében előfordul természetes módon (például dohány, selyemkóró). A nikotin higroszkópius, színtelen, olajos folyadék, amely jól oldódik szerves oldószerekben (például alkohol, éter). Savakkal sókat alkot, amelyek általában szilárdak és vízzoldékonyak. Széles körben használták rovarölőként is [70, 71].

Sorsuk a környezetben

Az élelmiszer-adalékanyagok közül az antioxidánsokat és a mesterséges édesítőszereket mutatták ki leginkább a környezetben.

Az antioxidáns **BHA** és **BHT** általánosan használt tartósítószer, amelyet kozmetikai szerekben és élelmiszerekben használnak, az Egyesült Királyságban 1600 ng/l koncentrációban találták meg felszín alatti vizekben, míg az USA-ban nem mutatták ki.

A mesterséges édesítőszereket tekintik a leginkább aggodalomra okot adó élelmiszer-adalékanyagoknak, mivel a vízi környezetben perzisztensnek mutatkoznak, és nem vagy csak részben bomlanak le a szennyvíztisztítás során, továbbá potenciális egészség- és környezetkárosító hatásuk lehet. A mesterséges édesítőszer legnagyobbat mennyiségben a szennyvíztisztítón keresztül jutnak a környezetbe, mivel a jelenlegi szennyvíztisztítási eljárások nem képesek hatékony eltávolításukra [72].

Az aceszulfám ellenáll a szennyvíztisztításnak, a vízi környezetbe kerülve hidrofíliája miatt igen mobilis. Kimutatták felszíni, felszín alatti vizekben és ivóvízben is, továbbá olyan gabonában, amelyet tisztított lakossági szennyvízzel öntöztek [72]. A szennyvíztisztítóban tapasztalt perzisztenciája miatt a szennyvíztisztítók felszíni vagy felszín alatti vizekbe történő kibocsátásának indikátoraként is használják. Németországban az utóbbi években azonban csök-

kenő tendenciát mutat az aceszulfám mennyisége a szennyvíztisztítóknak és a befogadóknak. A vizsgálatok alapján ez annak a következménye lehet, hogy korábban még nem voltak jelen azok a mikroorganizmusok a szennyvíztisztítóknak, amelyek képesek lettek volna eltávolítani az aceszulfámot, azonban a mikrobiális evolúció során megjelentek, és ez az aceszulfám mennyiségének csökkenését eredményezte. Vagyis az aceszulfám az első olyan szerves mikroszennyező, amelynek kimutatták a szennyvíztisztítóban lejátszódó lebomlási folyamatok evolúcióját, amely kb. két évtized alatt játszódott le. A lebontásban nem egyetlen mikroorganizmus játszott szerepet, hanem mikroorganizmusok együttes hatása eredményezte azt [72]. Különösen érdekes, hogy a megfigyelt jelenség a világ több régiójában közel egy időben, párhuzamosan játszódott le. Bár az aceszulfám degradációjának hatékonysága jelentősen megnőtt, teljes mineralizációját még nem figyelték meg a felszíni vagy felszín alatti vizekben [72].

A másik, indikátorként használt édesítőszer a szukralóz, amelynek mennyisége felszíni vizekben egyenes arányosságot mutatott a szennyvízbevezetéssel, így megbízható indikátornak tartják. Az aceszulfámmal ellentétben a szukralóz lebontásának emelkedéséről nem számol be a szakirodalom.

A stimulálószernek közül a koffeint és a nikotint tekintik új szennyezőnek. A környezetbe koffein elsősorban antropogén hatással kerül. Európában a felnőttek átlagosan 37–319 mg/nap koffeint fogyasztanak. A koffein fogyasztását követően egy vagy több másodlagos metabolit keletkezik, kis százaléka (0,5–10%) ürül változatlan formában a vizelettel. A koffein a szennyvízbe a vizelettel, illetve az el nem fogyasztott koffeintartalmú italok, élelmiszerek, gyógyszerkészítmények szennyvízhálózatba kerülésével juthat. A szennyvíztisztítók eltávolítják a koffein egy részét, de az eltávolítás hatékonysága igen változó (64–100%), függ a tisztítás módjától (kizárólag mechanikai tisztítás esetén csupán 13%), az iszapkortól, a környezeti körülményektől (fény- és hőmérsékletviszonyoktól), valamint az iszap fizikai tulajdonságaitól, például adszorpciós kapacitásától [4]. A koffeint kimutatták felszín alatti vizekből és hegyi tavakból is, a tengerekben és a part menti vizekben is kimutatták [4], továbbá megjelenésében szezonális változásokat is megfigyeltek [73]. Koncentrációja a vízi környezetben a ng/l nagyságrendben mozog, az Egyesült Királyságban 4500 ng/l koncentrációban is kimutatták felszín alatti vízből. A koffein átalakulási termékei (például paraxantin, 3-metilxantin, 1-metilxantin, teofillin) is kimutathatók voltak a felszín alatti vizekben, az alampolekulához hasonló koncentrációtartományban, de jellemzően nem fordultak elő mindenütt. Európában, Ausztráliában és az USA-ban a vizsgálatok összefüggést mutattak a koffein jelenléte és a felszíni és felszín alatti vizek szennyvízzel történő szennyezése között, így a kommunális szennyvíz egyik indikátorának is tekinthető [4]. A koffein a környezetben viszonylag stabil, felezési ideje 100 és 240 nap közötti [74].

A nikotint a koffeinhez hasonlóan az antropogén szennyezés indikátorának tekintik. A környezetben elsősorban a vízi környezetben fordul elő (93%), míg a talajban (4%), levegőben (3%) és az üledékben (0,4%) jóval kisebb arányban található meg. Az emberi szervezetben a máj metabolizálja, az oxidatív enzimatis átalakulás eredményeképpen számos bomlástermék (például kotinin, 3-hidroxi-kotinin, N-fomilnornikotin, nikotin-N-oxid) képződik, amelyek a szennyvíztisztítókon keresztül a felszíni vizekbe jutnak, amely útvonal a környezetbe jutásuk fő forrása [75]. A lakossági szennyvízkibocsátás mellett a cigarettacsikkekből és a neonikotinoid peszticidek felhasználása során is a környezetbe juthat. A vízi környezetben a fotolitikus és hidrolitikus reakcióknak ellenáll. A nikotin koncentrációja a felszín alatti vizekben jellemzően nem haladja meg a 144 ng/l-t, bár az Egyesült Királyságban 8070 ng/l koncentrációban is detektálták felszín alatti vízben [76]. A nikotin elsődleges átalakulási termékét, a kotinint is kimutatták felszín alatti vizekből, koncentrációja jellemzően a nikotinnal megegyező tartományban volt [4].

Hatásuk

A növekvő számú laboratóriumi állatkísérletek és epidemiológiai vizsgálatok alapján feltételezhető, hogy az élelmiszer-adalékanyagok betegségek kialakulásához vezethetnek [77].

Egyre nagyobb aggodalom övezi az élelmiszerekben található adalékanyagok, színezékek, ízfokozók, tartósítószer-potenciálisan káros hatásait a gyermekek egészségére. A gyermekek különösen érzékenyek, mivel testsúlyukhoz képest nagyobb arányú a táplálékfogyasztásuk, metabolikus rendszerük még fejlődik, így a méregtelenítés határfoka alacsonyabb, és a fontos szervrendszerek folyamatos változáson, fejlődésen mennek keresztül, ezért sokkal érzékenyebbek a zavaró hatásokra a felnőttekéhez képest [78]. Egyes színezékek súlyosbítják az **ADHD** (figyelemzavar és hiperaktivitás) tüneteit, bár a folyamat pontos menete nem ismert, például a brilliantkék ételfesték (E 133) át tud jutni a vér-agy gáton.

A mesterséges édesítőszer-ökotoxikológiai hatásáról kevés információ áll rendelkezésre [79, 80].

A ciklamátok használatát az USA Élelmiszer- és Gyógyszerügyi Hivatala 1970-től betiltotta, az állatkísérletekben kimutatott karcinogén hatásuk miatt. Az eredményeket azonban nemzetközi viszonylatban vitatják, így a világ számos országában ma is használják, köztük Magyarországon is. Elterjedt használatuk miatt 2016-ban a ciklamátok tették ki a felhasznált mesterséges édesítőszer-felét. Az aszpartámot is biztonságosnak minősítették az európai hatóságok, azonban egyes vizsgálatok karcinogén hatást mutattak ki már 20 mg/test kg használata esetében is, amely fele az EU-ban megengedett mennyiségnek (40 mg/test kg) [79, 81]. A gyakran használt édesítőszer-hatására glükóztoleranciát és metabolikus betegségek iránti fogékonyságot mutattak ki emberben és egerekben. A szukralózt és a szacharint gyulladásos bélbetegségekkel hozták összefüggésbe, mivel megzavarják a humán bélflórát és az emésztőenzimek funkcióját. A xenobiotikumok átalakításában a gasztrointesztinális rendszer is fontos szerepet játszik, és csökkenti, esetleg súlyosbítja a xenobiotikum hatását [79]. A xenobiotikumok is hatással lehetnek a bélflóra összetételére, metabolikus működésére, így számos, a bél működésével kapcsolatos élettani funkciót is befolyásolhatnak [82, 83].

A szukralózt és az aceszulfámot vizsgálták a legtöbbet magas koncentrációjuk és perzisztenciájuk miatt különböző környezeti mátrixokban. A standard ökotoxikológiai vizsgálatok nem mutattak akut vagy krónikus toxicitást a vízi szervezetekre. A szukralóz nagyon magas környezeti előfordulása miatt aggodalomra ad okot, azonban a toxikológiai vizsgálatok nem igazoltak káros hatást [4, 79]. A szacharin és a ciklamátok citotoxikus és mutagén hatást okoztak vöröshagyma esetében [79].

Fontos lenne számításba venni az átalakulási termékeket is, amelyeket a standard ökotoxikológiai tesztek-nél nem vesznek figyelembe. Az aceszulfám esetében a *Vibrio fischeri* biolumineszcencia gátlási teszt 575-szörös gátlást mutatott fotolízis után, a vizsgálatok kimutatták, hogy a metabolitok felhalmozódása volt felelős a 99,5%-os toxicitás-növekedésért [79]. Ugyanez a vizsgálat szukralóz esetében 16,5-szeres növekedést okozott, amely alapján azt a következtetést vonták le, hogy az aceszulfám hosszabb távú ökológiai hatást eredményez, mint a szukralóz. Mindez ellentmond annak a korábbi megállapításnak, hogy a szukralóz veszélyesebb a környezetre, mert nagyobb mennyiségben volt detektálható, mint az aceszulfám. A mesterséges édesítőszer-ek és a koffein hatással vannak a halak szívritmusára, a szem optikai denzitására és az ivadékok hosszára az alábbi rangsor szerint: szacharóz > koffein > aszpartám > szukralóz. Mivel ezek az anyagok a környezetben együtt vannak jelen, figyelembe kell venni a kockázatát is, amely kumulatív hatást mutatott [79].

A *nikotin* letális orális dózisa 40–60 mg az emberre. Az alkohol mellett a nikotin a leggyakrabban használt függőséget okozó szer. Az alacsony LogK_{ov} -együttható alapján feltehetően alacsony a biokoncentráció veszélye a vízi élőlényekre, azonban gyakori jelenléte hozzáférhetővé teszi a vízi élőlények számára, és toxikus hatását ki tudja fejteni. Toxikus hatását elsősorban emberben vizsgálták, ökotoxikológiai hatásáról keveset tudunk. Környezetben előforduló koncentrációban nem mutatott akut toxicitást a vizsgált fajok esetében (*Vibrio fischeri*, *Pseudokirchneriella subcapitata*, *Thamnocephalus platyurus* and *Daphnia magna*), de 100 µg/l befolyásolja a nagy vízíbolha (*D. magna*) szaporodási rendszerét, csökkenti a fiatal egyedek születését és a testhosszt. A 10 µg/l vagy nagyobb koncentrációban a *D. magna* utódok nagyobb arányban lesznek hímneműek, vagyis juvenilis hormon (az átalakulással fejlődő rovarok hormonja) hatása van [75].

A *koffeint* számos vízi élőlény szöveteiből ki tudták mutatni, például kagylók, halak, makroalgák, vízinövények szöveteiben, ahol felhalmozódott a hosszú távú környezeti jelenlét miatt. A környezetben megtalálható koncentrációt (ng/l–mg/l) alkalmazó vizsgálatok számos káros hatást mutattak ki mind vízi élőlényeknél, mind szárazföldi rovaroknál, többek között letális hatást, általános stresszt csökkentő, oxidatív stresszt és lipid peroxidációt növelő hatást, befolyásolja az energiatartalékokat és a metabolikus aktivitást, neurotoxikus hatása van, befolyásolja a szaporodást és a fejlődést stb. [74].

Az élelmiszerbe nem célzottan, de az élelmiszerek csomagolása, feldolgozása során bejutó egyéb anyagokból (például festékek, papír, műanyagok, egyéb polimerek) további egészségre káros anyagok is bekerülhetnek az élelmiszerekbe. A megvizsgált anyagok közül a legnagyobb aggodalmat az alábbi anyagok okozzák:

- *bisfenolok*, amelyek a fémkonzervek belső bevonatából oldódhatnak ki az élelmiszerbe, a fém korróziójának gátlására használják;
- *ftalátok*, amelyek az élelmiszerek feldolgozása során kerülhetnek az élelmiszerekbe [78];
- *per- és polifluorozott alkilezett vegyületek (PFAS)*, amelyeket a zsírtaszító papírok készítéséhez használnak a mai napig (mikrózható popcornzacskók, gyorsételek csomagolására használt anyagok stb. [84, 85], Dánia 2020-ban kivonja a forgalomból ezeket a csomagolóanyagokat [86];
- *perklorátok*, amelyeket antisztatikus hatásuk miatt olyan száraz élelmiszerek csomagolására használnak, amelyek nem tartalmazznak zsírt vagy olajat;
- *perzisztens peszticidmaradványok*, jelenlétük aggasztó, akaratlanul kerülnek az élelmiszerekbe.

Fejezetzáró kérdések

1. Melyek a leggyakoribb élelmiszer-adalékok és stimulálószer a Codex Alimentaris Standard szerint?
2. Mi az egyes élelmiszer-adalékok sorsa a környezetben?
3. Hogy kerül a nikotin a környezetbe?
4. Hogy kerül a koffein a környezetbe?
5. Miért ad aggodalomra okot az élelmiszer-adalékok környezeti jelenléte?
6. Milyen hatása van a nikotinnak az élő szervezetekre?
7. Milyen hatása van a koffeinnek az élő szervezetekre?