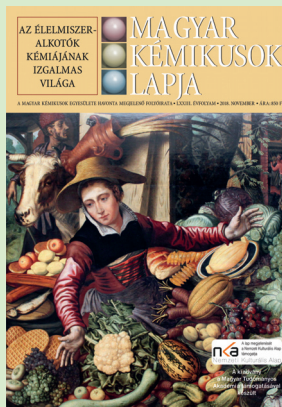


## Élelmiszer-alkotók kémiája – tematikus szám (2018)

Az élelmiszerekkel való találkozás mindennapi életünk része. Táplálkozással szerezük meg az élet fenntartásához szükséges energiát és tápanyagokat szervezetünk számára. Az élelmiszerek bioaktív komponensei mindemellett bizonyítottan jótékony hatással vannak az egészségre, és hozzájárulnak az életminőség megőrzéséhez vagy javításához. Az aromakomponensek kulináris élvezetet is nyújtanak egy kellemes környezetben elfogyasztott ebéd vagy vacsora során. Az egészségtudatos táplálkozás egyre nagyobb teret hódít a fogyasztók körében, és ezzel együtt megnőtt az érdeklődés a tudományos kutatásokon alapuló ismeretek iránt. Felismerve ezt az igényt, egyre szorosabb a kapcsolat a tudományos műhelyek, a nemesítők és a feldolgozók között az elméleti eredmények gyakorlati megvalósítása érdekében. A globális környezeti változások az élelmiszerek biztonságos fogyasztására is hatással vannak, ezért fontos megismerni például azokat a kémiai szennyezőanyagokat – mint a mikotoxinok és peszticidek –, melyek szervezetbe kerülése egészségkárosodást eredményezhet. Szükség van olyan korszerű, nagy érzékenységgű, szelektív analitikai módszerek fejlesztésére, melyekkel az ilyen szennyezők élelmiszerbe kerülésének kockázata minimálisra csökkenthető.

Ez a tematikus szám három kutatóműhely – a NAIK Élelmiszer-tudományi Kutatóintézet, a SZIE Élelmiszertu-



dománvi Kar Alkalmazott Kémia és az Élelmiszertudományi és Táplálkozástudományi Tanszék, valamint a BME Alkalmazott Biotechnológiai és Élelmiszertudományi Tanszék – jelenlegi kutatásainak egy-egy szeletét mutatja be. Megismerhetik például a hazai nemesítésű burgonya, dió, paradicsom és fűszerpaprika biológiailag aktív metabolitjait vagy a probiotikus baktériumtörzsek által termelt bakteriocinokat. Izgalmas összeállítást olvashatnak az aromakomponensekről és a polifenolokról. Áttekintést kaphatnak az aminosavak és a biogén aminok sokszínű tulajdonságairól, arról, hogy hogyan befolyásolják az élelmiszerek minőségét és biztonságát. Új ismereteket kaphatnak legfontosabb alapélelmiszerünk, a kenyér alapanyagául szolgáló gabonafajták arabinoxilán-tartalmáról, mely hozzájárulhat egészségünk megőrzéséhez. Szó lesz a peszticid-metabolitok és a maskolt mikotoxinok kimutatásának analitikai kihívásairól.

**Simonné Dr. Sarkadi Livia**  
egyetemi tanár



Simonné Sarkadi Livia<sup>1</sup> – Mednyánszky Zsuzsanna<sup>1</sup> – Toldi Dávid<sup>1</sup>  
– Nagy Gábor Zsolt<sup>1</sup> – Kocsy Gábor<sup>2</sup>

<sup>1</sup> SZIE ÉTK Élelmiszertudományi és Táplálkozástudományi Tanszék

<sup>2</sup> MTA ATK Mezőgazdasági Intézet, Növényi Molekuláris Biológia Osztály

# Aminosavak és biogén aminok az élelmiszer-minőség és -biztonság tükrében



### Bevezetés

Az élelmiszer-minőség és -biztonság megítélésében a fehérjéknek, aminosavaknak és származékaiknak, a biogén aminoknak alapvető szerepe van. Mindemellett nagy jelentőségűek számos növényfiziológiai folyamatban is.

Ezeknek a vegyületcsoportoknak a kutatása több évtizedes múltra tekint vissza, de a még napjainkban is növekvő számú

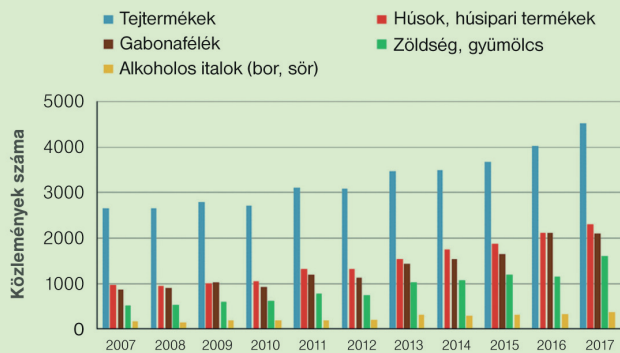
közlemény mutatja a terület kiemelkedő fontosságát az újabb és újabb szempontok, megoldásra váró feladatok megjelenésével.

A Web of Science adatbázis alapján az utóbbi 10 évben megjelent közlemények száma az élelmiszerek aminosavtartalmára vonatkozóan 7962-ről 17 024-re nőtt. A fő vizsgált élelmiszercsoportok a tejtermékek, húsok, húsipari termékek, gabonafélék, zöldségek, gyümölcsök és az alkoholos

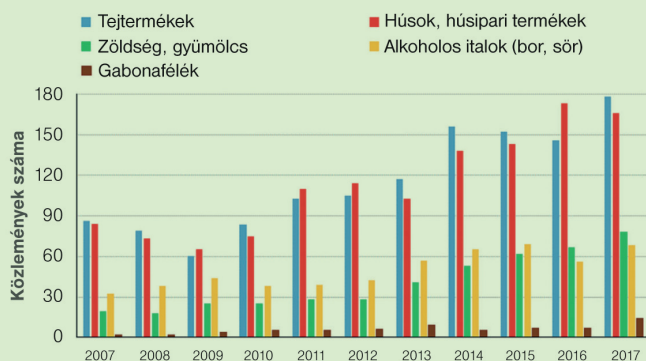
italok (bor, sör) voltak (**1. ábra**). A legtöbb cikk a tejtermékekkel, közülük is a sajtokkal foglalkozott. A biogén aminok esetén az összes közleményszám 311-ről 564-re nőtt; legnagyobb hányadukat szintén a tejtermékek képezik, de sok cikk foglalkozik a húsipari termékek biogénamin-tartalmával, elsősorban az új tartósítási módszerek hatásvizsgálata kapcsán. A jellemző élelmiszercsoportokra vonatkozó adatokat a **2. ábra** mutatja.



## ÉLELMISZER-ALKOTÓK KÉMIÁJA



1. ábra. Az élelmiszerek aminosav-összetételével kapcsolatos közlemények száma



2. ábra. Az élelmiszerek biogénamin-tartalmával kapcsolatos közlemények száma

### Az aminosavak jelentősége az élelmiszer-minősítésben

Az aminosavak az élő szervezetek nélkülözhetetlen biomolekulái. Az élő szervezetekben vagy fehérjékben kötött, vagy szabad formában fordulnak elő.

Több mint ötszázféle természetes aminosav ismert, melyek közül a fehérjék felépítésében mindössze húszféle  $\alpha$ -L-aminosav vesz részt. Közülük 8 esszenciális (valin, leucin, izoleucin, fenilalanin, lizin, triptofán, treonin, metionin). Ezeket az emberi szervezet nem képes előállítani, így a teljes igényt a táplálékkal kell fedezni. A hisztidin és az arginin szemiesszenciális aminosavak: a hisztidin a bélbaktériumok tevékenysége révén termelődik a bélben, míg az arginin az ornitinciklusban folyamatosan képződik, de a fehérje-bioszintézishez szükséges mennyiségüket táplálékkal kell biztosítani.

Mivel egyes fehérjék aminosav-összetétele genetikailag meghatározott, az azonos eredetű élelmiszer-fehérjék aminosav-összetételében nincs nagy változatosság. A különböző eredetű (állati, növényi) fehérjék eltérő aminosav-összetételük alapján különböző tápláléértékűek.

Az aminosav-összetétel alapján a fehérjéket teljes értékű (komplett) és nem teljes

értékű (inkomplett) kategóriába sorolhatjuk. A legtöbb állati eredetű fehérje teljes értékű (pl. anyatej, tojás), azaz aminosav-összetétele kielégíti az ember számára szükséges esszenciális aminosav-igényt. Számos növényi fehérje ilyen vonatkozásban nem teljes értékű, például a gabonafehérjék lizintartalma kicsi, a hüvelyes növények kevés metionint tartalmaznak, a kukoricában kevés a triptofán és a lizin. A legkisebb mennyiségben előforduló aminosavakat *limitáló aminosavaknak* nevezzük

A fehérjék biológiai értékének meghatározására több módszert dolgoztak ki a 20. század második felében, amelyről számos összefoglaló mű olvasható [1, 2]. A biológiai érték számításának fénykora után némi hanyatlás mutatkozott a módszerrel dolgozás és -alkalmazás területén, de a századfordulót követően ismételtelen előtérbe került a táplálékfehérjék ilyen típusú jellemzése. A FAO/WHO által elfogadott módszer alapján a fehérjék biológiai értékét az emészthetőséggel korrigált (protein digestibility-corrected amino acid score, PDCAAS) aminosav adatokkal jellemzik [3].

A szabad aminosavak előfordulása a természetben több százra tehető. Az élelmiszerekben harminc-negyvenféle fordul elő leggyakrabban, és sokkal nagyobb változatosságot mutatnak, mint a fehérjeépítő

aminosavak. A szabad aminosavak mennyisége és minősége jellegzetesen különbözik még az azonos típusú alapanyagok (pl. hús) eltérő fajtái (pl. sertés, marha, juh) esetén is, továbbá az élelmiszer-előállítás, a feldolgozás vagy a tárolás körülményei nagymértékben befolyásolják a termékek végső szabad aminosav-összetételét. A szabad aminosavak jelentősége igen sokrétű, egyrészt a fermentált élelmiszereknél tápanyagforrásként szolgálnak az erjesztő mikroorganizmusok számára, másrészt kiindulási molekulái számos élelmiszer íz- és aromaanyagainak, valamint a biogén aminoknak, nem utolsósorban pedig a minőségi és eredetvizsgálatokban is alapvető fontosságúak.

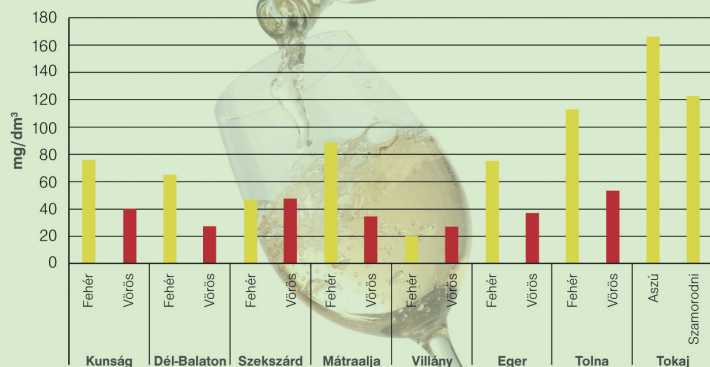
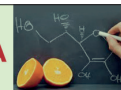
Napjainkban néhány nem fehérjeépítő aminosav, például a GABA ( $\gamma$ -aminovajsav), vizsgálata élelmiszer-minősítési és táplálkozásfiziológiai szempontból egyre nagyobb hangsúlyt kap. A GABA az agy gátló neurotranszmittereként kulcsfontosságú az idegsejtek ingerelhetőségének szabályozásában. A központi idegrendszeri funkcióin túl kimutatható számos perifériás szövetben (emésztőrendszer, hasnyálmirigy, máj, vese stb.). A GABA egészségvédő hatásairól (vérnyomás-csökkentés, krónikus betegségek kezelése, rák kialakulásának lassítása) számos közlemény jelent meg. Emiatt egyre növekvő érdeklődés merült fel mind az élelmiszer-tudomány, mind az élelmiszeripar részéről a megnövelt GABA-tartalmú funkcionális élelmiszerek előállítása iránt [4, 5].

Az utóbbi időben számos közlemény jelent meg a megnövelt GABA-tartalmú élelmiszerekkel kapcsolatban (barna rizs [6], búzaborpa [7], szójabab [8], tejsavbaktériumokkal fermentált élelmiszerek [9]).

A Magyarországon különböző borvidékeiről származó borok szabad aminosav-összetételét összehasonlítva, különös tekintettel a GABA-tartalomra (3. ábra), megállapítottuk, hogy a magyar vörösborok átlagosan 26–53 mg/dm<sup>3</sup>  $\gamma$ -aminovajsavat tartalmaznak, ami a francia vörösborokban mért értékeknél (10–47 mg/dm<sup>3</sup>) magasabb. A fehérborok (20–112 mg/dm<sup>3</sup>) átlagos GABA-tartalma meghaladja a vörösborokét. A speciális termesztési és feldolgozási technológia következtében a tokaji borok 91–170 mg/dm<sup>3</sup> GABA-tartalma jelentősen nagyobb, ezzel is hozzájárulva a hungarikumnak számító termék egészségre gyakorolt pozitív hatásához [10].

Az L-aminosavakon kívül a többnyire bakteriális eredetű D-aminosavak is előfordulnak a természetben. Ezek az aminosavak főként a baktériumok sejtfalának alkotói.

## ÉLELMISZER-ALKOTÓK KÉMIAJA



3. ábra. Magyarország különböző borvidékeiről származó borok  $\gamma$ -aminovajsav-tartalma

Az élelmiszerekben való előfordulásukról az analitikai technika fejlődésének köszönhetően egyre bővülnek ismereteink. A D-aminosavak vagy az előállítás folyamán, vagy az élelmiszer mikrobiológiai minőségében bekövetkezett változás során az L-sztereoizomer aminosavakból képződnek racemizációval. Jelenlétük csökkenti az élelmiszer-fehérje emészthetőségét és az átalakult aminosav felhasználhatóságát. Elsősorban azon élelmiszerek D-aminosav-tartalma jelentős, amelyek előállítása során hőközlést, lúgos kezelést vagy fermentációt alkalmaztak [11].

A kemény sajtokkal végzett kutatási eredményeink azt mutatták, hogy a szabad aminosav-összetétel és a D/L glutaminsav-, valamint a D/L aszparaginsav-arány jó paramétere a parmezán sajtok minősítésének. Az élelmiszerekben előforduló D-aminosavak mennyisége és minősége nagymértékben függ az előállítás körülményeitől, így alkalmas lehet a minőség mellett az eredet meghatározására is [12].

### A biogén aminok jelentősége élelmiszer-minőségi és -biztonsági szempontból

A biogén aminok az élelmiszerekben vagy természetes alkotóként fordulnak elő, vagy az élelmiszerek előállítása során alkalmazott technológiai műveletek, starter kultúrák, valamint a termékbe kerülő szennyező baktériumok működése révén a jelen lévő szabad aminosavakból keletkezhetnek.

Az élelmiszer-biztonsággal kapcsolatos fontos problémakör a biogén aminok szerepének tisztázása az ételallergia, illetve ételintolerancia kialakulásában. Már Hippokratész (Kr. e. 500) is tett olyan megfigyelést, hogy bizonyos emberek a sajt fogyasztása után megbetegedtek. A későbbiek során a sajtok nagy tiramin-tartalma okozta megbetegedéseket „sajt-szindró-

maként” emlegették. Hasonló módon a nagy hisztamin-tartalmú halak fogyasztása után kialakult mérgezési tüneteket „scombroid mérgezés” elnevezéssel illeték.

A biogén aminok vaso- és pszichoaktív hatásuknak köszönhetően nagy mennyiségben a szervezetbe kerülve kedvezőtlen reakciókat (fejfájás, hasmenés, bőrkütiés, vérnyomás-ingadozás stb.) válhatnak ki.

Szignifikáns különbség van a két fő élelmiszertípus, a növényi és állati eredetű élelmiszerek biogénamin-összetétele között. A növényi eredetű élelmiszerek főként putreszcint, spermint és spermidint tartalmaznak, és lényegesen kevesebb hisztamint és tiramint, mint az állati eredetűek. A növényi eredetű élelmiszerek általánosan kisebb veszélyt jelentenek a biogénamin-tartalmukát illetően, míg az állati eredetű, főként fermentált élelmiszerek azok, amelyeknek biogénamin-tartalma meghaladhatja a határértéket [13].

Az egészséges szervezet számára az aminoszintézis enzimrendszere a DAO (*diaminoxidáz*) és a MAO (*monoaminoxidáz*) elegendő védelmet nyújt a mérgezés kialakulása ellen. Abban az esetben, ha ez az enzimrendszer valamilyen okból nem működik kielégítően (genetikusan vagy gyógyszerek által gátolt), akkor kisebb mennyiség is betegség kialakulásához vezethet. A toxikus dózis nagyságának megállapítása azonban nem egyszerű, mivel más-más határértékek érvényesek az aminokra érzékeny és az egészséges személyek esetében. Jelenleg csak a hisztaminra és tiraminra állapítottak meg tolerancia-határértéket. A többi aminra a toxikus dózis nagyságát illetően igen hiányosak az ismeretek.

Az Európai Unió haltermékekre 100–200 mg/kg, fermentált élelmiszerekre 200–400 mg/kg határértéket állapított meg [14]. A hisztamin-tartalomra vonatkozó hazai rendelet [15] 200 mg/kg-ban határozta meg a sajtokban megengedhető mennyiséget

(bizonyos penésszel érlelt sajtok kivételével). Egyéb irodalmi adatok szerint a felső határ hisztaminra 100 mg/kg élelmiszerekben, és 2 mg/dm<sup>3</sup> alkoholos italokban [16]. A tiraminra 100–800 mg/kg és 2-fenil-etil-aminra 30 mg/kg határértéket állapítottak meg [17].

Sajátos tulajdonságuk révén a biogén aminok alkalmasak az élelmiszer-előállítás, feldolgozás és -tárolás élelmiszer-higiéniai és élelmiszer-biztonsági előírásainak közvetett ellenőrzésére is. Mindezek szükségessé teszik a biogén aminok élelmiszer-minőségi szempontból való vizsgálatát.

Az élelmiszerek mikrobiológiai állapota és a biogénamin-tartalma közötti szoros összefüggésre alapozva [18] létrehozták a biogénamin-indexet (BAI) a halak frissességének, illetve romlottsági fokának megállapítására.

$$BAI = \frac{\text{hisztamin} + \text{putreszcint} + \text{kadaverin}}{1 + \text{spermidin} + \text{spermin}}$$

ahol a koncentrációk mg/kg egységben vannak megadva. Három kategóriát hoztak létre: 0–2 BAI között frissnek, 2–10 BAI között kissé romlottak, 10 BAI felett romlottak minősítették a terméket. A kémiai elemzés eredményeit mikrobiológiai és érzékszervi bírálatokkal erősítették meg. A biogénamin-tartalom meghatározása gyors, közvetett jellemző adatot szolgáltat a mikrobiológiai állapotról, a termék minőségéről.

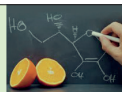
Az egyéb nagy biogénamin-tartalmú élelmiszere (sajtok, szalámik) kapott tipikus biogénamin-összetétel alapján a fenti indexet módosítani szükséges, többek között fontos a tiramin figyelembevétele is.

A biogén aminokkal kapcsolatos összefoglaló cikkünk [19] e kutatástérület alapvető dokumentumává vált a több mint 700 hivatkozásával.

A biogén aminokkal foglalkozó kutatási tématerület jelenlegi fontosságát mutatja az Európai Biztonsági Hivatal (EFSA: European Food Safety Authority) által 2010-ben indított, európai élelmiszerekre vonatkozó adatgyűjtési akció, amelynek célja a határértékek megállapítása és a nemzetközi szabályozás kialakítására. Laboratóriumi munkával közel 3000 adattal járult hozzá az adatbank létrehozásához.

A felmérés feltárta e kérdéskör bonyolultságát az élelmiszertípusok, alkalmazott analitikai módszerek stb. vonatkozásában, így csak általános megállapítások születnek felvázolva a további teendőket a kutatások és a szabályozás terén.

További kutatásokra van szükség az alábbi területeken: i) a toxicitás és a biogéna-



## ÉLELMISZER-ALKOTÓK KÉMIÁJA

min-koncentrációk közötti összefüggés megállapítása a különböző élelmiszerekben; ii) a biogénamin-képződés vizsgálata a fermentált élelmiszerekben az előállítási folyamat során; iii) technológiai higiéniai és/vagy élelmiszer-biztonsági kritériumok megállapítása; valamint iv) az analitikai módszerek validálása, beleértve a szabványosítást és az eljárások harmonizációját valamennyi érintett élelmiszertípusra vonatkozóan [20].

Új kutatási irányként az élelmiszerek biogénamin-tartalmának csökkentése fogalmazódott meg, amely új élelmiszeripari technológiák kialakítására is lehetőséget ad a közeljövőben.

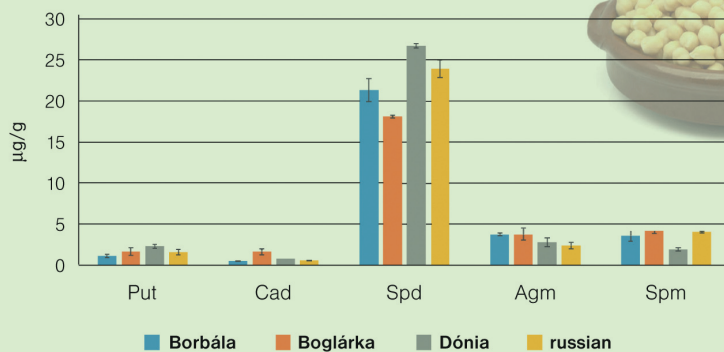
### Élelmiszerek biogénamin-tartalmának csökkentése

Az utóbbi időben számos kísérlet történt mind az élelmiszer-tudomány, mind az élelmiszeripar területén az élelmiszerek biogénamin-tartalmának csökkentése érdekében. Ezek közül igen hatékonyak ígérkeznek az amin-negatív starterkultúrák [21, 22] vagy a probiotikus baktériumtörzsek és a starterkultúrák együttes alkalmazása [23, 24], vagy a kis dózisu gamma-sugárzás alkalmazása [25, 26].

Az élelmiszerek nagy hidrosztatikai nyomású kezelésével (HHP) is számos kutatás foglalkozik. Latorre-Moratalla et al. [27] megállapították, hogy 200 MPa (10 min) alkalmazása visszaszorította a romlásindikátor putreszcín (Put) és kadaverin (Cad) termelődést a húsokban, míg a spermidin, spermin (Spm) és tiramin (Tym) képződését nem befolyásolta.

Saját kutatásaink is megerősítették, hogy a szárazkolbászokban az 500 MPa (10 min) kezelés csökkentette a Put és Cad képződését, míg a Tym és Spm képződést serkentette 28 napos tárolás során (+8 °C) [28].

A HHP-kezelés (500 MPa, 10 min) és a szelektált starterkultúra (*Lactobacillus curvatus* 2770) hatását vizsgálva a félkemény sajtok biogénamin- és szabad aminosav-tartalmának változására tárolás során (5 hét, 13 °C) megállapítottuk, hogy az 5 hetes tárolás alatt a kontroll sajtminék szabad aminosav-tartalma nőtt mind a szelektált baktériumtörzsszel (*L. curvatus*: 648–2428 µg/g), mind a gyári starterkultúrával (Choozit 624–1431 µg/g) beoltott sajtok esetében. A fő szabad aminosav az *L. curvatus* 2770 törzsszel beoltott sajtokban a Glu, Orn, Lys, Leu és GABA, míg a Choozit starterkultúrával beoltott sajtokban a Leu, GABA, Phe, Orn, Gln, Asn és Lys volt. A HHP-kezelés csökkentette a saj-



4. ábra. Csicscriborsó-fajták biogénamin-tartalma

tok szabad aminosav-tartalmát a kontrollmintákhoz képest (*L. curvatus* 40%-kal; Choozit 29%-kal), de a tárolás során mennyiségük növekedést mutatott.

A kontroll sajtminék biogénamin-tartalma nőtt a tárolás során (*L. curvatus*: 25–40 µg/g; Choozit: 3–140 µg/g). A HHP-kezelés hatására csökkent a biogénamin-tartalom az *L. curvatus* (70%-kal) és a Choozit (33%-kal) starterkultúrákkal készített sajtokban. A fő biogén amin az *L. curvatus* törzsszel készített sajtokban a kadaverin (45%) és a putreszcín (38%), míg a Choozit esetében a tiramin (68%) és a hisztamin (15%) volt [29].

A sajtok biogénamin-tartalmának csökkentésére irányuló, probiotikus törzsek (*Lactobacillus fermentum*, *paracasei* és *curvatus*) alkalmazásával folytatott további kutatásaink, az előző kísérletsorozathoz hasonlóan, kedvező eredményt szolgáltattak [30].

A biogén aminok élelmiszer-minősítés és élelmiszer-biztonsággal összefüggő jelentőségét bizonyítandó folyamatosan jelennek meg összefoglaló közlemények [31, 32, 33].

Az élelmiszer-minőséggel és élelmiszer-biztonsággal összefüggő kutatásaink kiterjesztettük a hüvelyesek szisztematikus vizsgálatára. Az ENSZ Élelmizésügyi és Mezőgazdasági Szervezete (FAO) a 2016-os évet a Hüvelyes Termények Nemzetközi Évének nyilvánította, hangsúlyozva a növénycsoport sokféleségét, értékeit, pozitív hatásait. A hüvelyesek egyik legfontosabb táplálkozás-életteni jelentősége, hogy értékes növényi fehérjeforrások. Fehérjetartalmuk 17–30% közötti, mely a gabonafélékben mérhető mennyiségnél lényegesen nagyobb. Nagy Gábor Zsolt a hüvelyesek népszerűsítésére, PhD-kutatómunkájához kapcsolódva, elkészített egy honlapot ([www.huvelyesekeve2016.hu](http://www.huvelyesekeve2016.hu)), ami nagy népszerűségnek örvend. Az eddigi eredményeink azt mutatták, hogy a hazai csicscriborsó-

fajták esszenciális aminosav-tartalma minden esetben meghaladta a 40%-ot. A biogén aminok közül a kedvező hatású spermidin fordult elő legnagyobb mennyiségben (4. ábra) [34].

### A szabad aminosavak és biogén aminok jelentősége a növények környezeti stressztűrésében

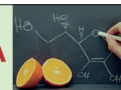
A növényi stressztűréssel kapcsolatos kutatásainkat az MTA ATK Mezőgazdasági Intézetének (Martonvásár) munkatársaival kialakított, közel 30 éves együttműködés keretében műveljük.

A mezőgazdasági termelés szempontjából értékes növényfajok környezeti stressztűrésének kutatása a Földünkön bekövetkezett szélsőséges időjárás-változások miatt mind tudományos, mind gazdasági szempontból igen fontos. A stressztűrése fajta előállítása érdekében szükséges megismerni azokat az alapvető összefüggéseket és kölcsönhatásokat, amelyek a környezeti stressz és a növény anyagcseréje között fennállnak. E bonyolult folyamatban alapvető szerepet töltenek be a kis molekulatömegű komponensek (aminosavak, biogén aminok), amelyeket a növényi sejtek a stresszhatásokkal szembeni védekezés során halmoznak fel, részben a vízvisszatartás, részben a membránstabilitás erősítése és az örökítő anyag védelme érdekében.

A fő táplálékforrásnak tekinthető gabonaféle, a búza sokoldalú felhasználása megköveteli a jó beltartalmi minőségű, megfelelő termésmennyiségű és a környezeti stresszhatásoknak ellenálló fajta nemesítését.

A különböző abiotikus stresszhatások egyik fontos következménye az oxidatív stressz, melynek káros hatásait az antioxidánsok védik ki. A redoxrendszer szabad aminosavakra kifejtett feltételezett szabályozó hatását különböző fényviszonyok (melyek kihatnak a reaktív oxigénformák

## ÉLELMISZER-ALKOTÓK KÉMIAJA



mennyiségére) közt nevelt búzában, és az antioxidánsokra hiányos lúdfű növényekben tanulmányoztuk. Az eltérő stressztűrési búzagenotípusok összehasonlításával megállapítottuk, hogy mely aminosavak és poliaminok stressz által előidézett koncentrációváltozásai függhetnek össze a stressztűrési mértékével.

Búzában a fényintenzitásnak és spektrális összetételének (kék, vörös és távoli vörös komponensek aránya) az antioxidáns glutationra és a szabad aminosavak mennyiségére kifejtett hatását vizsgálva megállapítottuk, hogy a fényviszonyok ezeket a paramétereket jelentősen befolyásolják [35].

Vad típusú lúdfű és két antioxidánsra, az aszkorbinsavra és a glutationra hiányos vonalak összehasonlításával további bizonyítékokat nyertünk arra, hogy a redoxrendszerben bekövetkező változások módosítják a szabad aminosavak mennyiségét és arányát [36]. Ezt az eredményt megerősítette, hogy a növények redukáló- és oxidálószerekkel történő kezelése is hasonló eredményre vezetett. A legtöbb kezelés növelte a stresszválaszban fontos Pro mennyiségét a Pro szintézisében részt vevő enzimek génjeinek aktiválása révén.

Mivel a búza 5A kromoszómája fontos szerepet játszik a különböző abiotikus stresszhatásokkal szembeni védekezésben, tanulmányoztuk, hogy ez a kromoszóma befolyásolja-e a szabad aminosavak és poliaminok szintjének módosulását az abiotikus stressz során. A kromoszóma hatását a szabad aminosavak és a poliaminok szintjére a hideg, az ozmotikus stressz és az abszcizinsav-kezelés (stresszválaszt szabályozó növényi hormon) során 5A kromoszóma szubsztitúciós vonalakban vizsgáltuk. A mérsékelt fagyérzékeny Chinese Spring fajtát hasonlítottuk össze egy érzékenyebb és egy toleráns vonallal. Hideg hatására a legtöbb szabad aminosav mennyisége nőtt, azonban csak a Pro koncentrációjának változása mutatott összefüggést a fagyűrési mértékével [37]. Az 5A kromoszóma hosszú karjának a szabad aminosavak és a poliaminok stresszindukálta változásait befolyásoló régióját deléciós vonalak összehasonlításával határoztuk meg [38]. A szabad aminosavak közül a Glu mennyisége nagyobb lett a deléciós vonalakban, és a deléció befolyásolta a Pro, Arg, Val és Lys koncentrációját is. A sóstresszt követően a putreszin és a spermidin mennyisége kisebb lett a deléciós vonalakban a Chinese Spring fajtaéhoz viszonyítva.

A szabad aminosavak mennyiségére egy fontos jelátvivő molekula, az NO is hatás-

sal van, ahogy ezt kukoricában ki tudtuk mutatni [39]. Az NO-kezelés tovább fokozta a Pro, Ile, Lys és Val mennyiségének sóstressz által előidézett növekedését. A Pro ozmotikumként játszik fontos szerepet a nagy mennyiségű NaCl káros hatásainak kivédésében, és e folyamat szabályozásában az NO is részt vesz. Mivel az NO befolyásolta a sóstressz során a Lys mennyiségét a kukoricában, a várakozásnak megfelelően a belőle képződő kadaverin koncentrációja is nagyobb lett [40].

A növényi stresszválasz kutatása során kapott legjelentősebb megállapításunk, hogy összefüggés van a stressztűrési mértéke és egyes szabad aminosavak és poliaminok mennyiségének stressz által előidézett változásai közt. Eredményeink jelzik a fény, a redoxrendszer és a jelátvivő NO szabad aminosavakra kifejtett lehetséges szabályozó hatását.

## Összefoglalás

Az egészség és a helyes táplálkozás közötti összefüggés felismerése egyre inkább közismertté válik mind a tudomány művelői, mind a fogyasztók körében. A fogyasztói kereslet a jó minőségű és egészségesebb élelmiszerek iránt egyre általánosabb. Annak érdekében, hogy az élelmiszer-minőség és élelmiszer-biztonság az egész élelmiszerellátási láncban megtartható legyen, további kutatások szükségesek és jobb együttműködés az ipar és a tudományos műhelyek között.

Ami a jövőbeni aminosavakkal és biogén aminosavakkal kapcsolatos kutatásokat illeti, még mindig sok a kihívás az élelmiszer-tudomány és a növényfisiológia területén.

**Köszönetnyilvánítás.** A kísérleteket a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (ANN117949, TÉT\_15\_IN-1-2016-0028, EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00005 azonosítójú pályázatok) támogatta.

## IRODALOM

- [1] Hegedűs, M., Kralovánszky, U.P., Mátrai, T. (szerk.) in: A takarmányfehérjék minősítése Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1981.
- [2] Lásztity, R., Hidvégi, M. eds., Amino acid composition and biological value of cereal proteins. D. Reidel, Publ. Co., Dordrecht, Boston, Lancaster, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1985.
- [3] G. Schaafsma, J. Nutrition (2000) 130(7), 1865S–1867S.
- [4] R. Coda, C.G. Rizzello, M. Gobetti, Int. J. Food Microbiol. (2010), 137, 236–245.
- [5] M. Diana, J. Quilez, M. Rafecas, J. Funct Foods (2014), 10, 407–420.
- [6] P. Jancoey, H. Niamsup, S. Lumyong, T. Suzuki, T. Katayama, G. Chairote, World J Microbiol Biotechnol (2010), 26, 257–263.
- [7] K. B. Park, S. H. Oh, Bioresour Technol. (2007), 98, 312–319.
- [8] Y. S. Youn, J. K. Park, H. D. Jang, Y. W. Rhee, Food Chem. (2011) 129, 1631–1635.
- [9] H. Zbakh, A. El Abbassi, J. Funct Foods (2012) 4, 53–65.

- [10] Zs. Mednyánszky, D. Toldi, L. Simon-Sarkadi, In: EuroFoodChem XIX Conference, October 4–6, 2017, Budapest, Hungary. Book of Abstracts, 2017, 214. (ISBN 978-963-9970-79-3)
- [11] L. Simon-Sarkadi, In: Progress in Biological Chirality, (Pályi, G., Zucchi, C., Caglioti, L. eds), Elsevier, Oxford (GB), 2004, 339–353.
- [12] E. Bellesia, A. Pinetti, L. Simon-Sarkadi, C. Zucchi, J. Csapó, B. Weimer, L. Caglioti, Gy. Pályi. In Advances in Asymmetric Autocatalysis and Related Topics (Gy Pályi, R. Kurdi, C. Zucchi, eds.) Elsevir Academic Press, 2017, 357–367.
- [13] L. Simon-Sarkadi. In: Process-Induced Food Toxicants. Occurrence, Formation, Mitigation, and Health Risks (R. H. Stadler, R. David, eds), Wiley, USA, 2009, 321–361.
- [14] European Council Directive 1991. 91/493/EEC
- [15] EüM rendelet 17/1999 (VI. 16.)
- [16] B. ten Brink, C. Damink, H. Joosten, J. Tveld. Int. J Food Microbiol. (1990) 11, 73–84.
- [17] J. E. Stratton, R. W. Hutkins, S. L. Taylor. J Food Prot. (1991) 54, 460–470.
- [18] J. L. Mietz, E. Karmas, J. Food Sci. (1977) 42, 155–158.
- [19] A. Halasz, A. Barath, L. Simon-Sarkadi, W. Holzzapfel. Trends Food Sci Technol. (1994) 5, 42–49.
- [20] European Food Safety Authority (EFSA). EFSA J. (2011) 9, 2393.
- [21] M. Fernandez, D. M. Linares, A. Rodriguez, M. A. Alvarez. Appl Microbiol Biotechnol. (2007) 73, 1400–1406.
- [22] R. Casquete, M. J. Benito, A. Martin, S. Ruiz-Moyano, A. Hernandez, M. G. Cordoba, LWT-Food Sci Technol. (2011) 44, 1562–1571.
- [23] M. L. Latorre-Moratalla, S. Bover-Cid, R. Talon, M. Garriga, E. Zanardi, A. Ianieri, M. J. Fraqueza, M. Elias, E. H. Drosinos, M. C. Vidal-Carou, LWT-Food Sci Technol. (2010) 43, 20–25.
- [24] C. Xie, H. H. Wang, X. K. Nie, L. Chen, S. L. Deng, X. L. Xu, CyTa, J Food. (2015) 13, 491–497.
- [25] R. Mendes, H. A. Silva, M. L. Nunes, J. M. A. Empis, Eur Food Res Technol. (2005) 221, 329–335.
- [26] J. S. Min, S. O. Lee, A. Jang, C. Jo, M. Lee, Food Chem. (2007) 104, 791–799.
- [27] M. L. Latorre-Moratalla, S. Bover-Cid, T. Aymerich, B. Marcos, M. C. Vidal-Carou, M. Garriga, Meat Science (2007) 75, 460–469.
- [28] L. Simon-Sarkadi, K. Pásztor-Huszár, I. Dalmadi, G. Kiskó, Food Res Int. (2012) 47, 380–384.
- [29] E. Korompai, L. Simon-Sarkadi, Zs. Mednyánszky, K. Pásztor-Huszár, In: Book of Proceedings Food Science Conference 2013 – With research for the success of Darányi Program, Budapest, Hungary, 2013, 336–339. (ISBN 978-963-503-550-2)
- [30] P. Simon, K. Pásztor-Huszár, I. Dalmadi, G. Kiskó, G., L. Simon-Sarkadi, Studia UBB Chemia (2013) LVIII, 3, 43–48.
- [31] P. Kalac, Food Chem. (2014) 161, 27–39.
- [32] M. A. Alvarez, M. V. Moreno-Arribas. Trends Food Sci. Technol. (2014) 39, 146–155.
- [33] L. Simon-Sarkadi, In: Fermented Foods in Health and Disease Prevention (J. Frias, C. Martinez-Villaluenga, E. Peñas eds.) Elsevier Academic Press, 2017, 625–651.
- [34] G. Zs Nagy, Zs. Mednyánszky, L. Simon-Sarkadi, In: EuroFoodChem XIX Conference, October 4–6, 2017, Budapest, Hungary, Book of Abstracts, 2017. (ISBN 978-963-9970-79-3).
- [35] I. Monostori, M. Heilmann, G. Kocsy, M. Rakszegi, M. Ahres, SH. Altenbach, G. Szalai, M. Pál, D. Toldi, L. Simon-Sarkadi, N. Harnos, G. Galiba, É. Darkó É, Front Plant Sci. (2018) 9:605. doi: 10.3389/fpls.2018.00605
- [36] Z. Gulyás, L. Simon-Sarkadi, E. Badics, A. Novák, Z. Mednyánszky, G. Szalai, G. Galiba, G. Kocsy, Physiol Plant. (2017) 159(3), 264–276. doi:10.1111/ppl.12510
- [37] Z. Kovács, L. Simon-Sarkadi, Cs. Sovány, K. Kirsch, G. Galiba, G. Kocsy, Plant Sci. (2011) 180, 61–68.
- [38] L. Simon-Sarkadi, G. Kocsy, Z. Sebestyén, G. Galiba, Environ Exper Bot. (2007) 60, 193–201.
- [39] Á. Boldizsár, L. Simon-Sarkadi, K. Szirtes, A. Soltész, G. Szalai, M. Keyster, N. Ludidi, G. Galiba, G. Kocsy, J Plant Physiol. (2013) 170, 1020–1027.
- [40] L. Simon-Sarkadi, N. Ludidi, G. Kocsy, Plant Sign Behav. (2014) 9, e27598.