



ram (1783-3/2018/FEKUTSTRAT) támogatta, a Szent István Egyetem növényneveléssel, növényvédelemmel kapcsolatos kutatások tématerületi programja keretében.

## IRODALOM

- [1] Rusznayk, I., Benkó, A., (Science) 1941, 94, 25.
- [2] Crozier, A., Jaganath, I. B., Clifford, M. N., Natural Product Reports (2009) 26, 1001–1043.
- [3] Zamora-Ros, R. et al., European Journal of Nutrition (2016) 55, 1359–1375.
- [4] Jaiswal, R., Matei, M. E., Subedi, P., Kuhnert, N., Food Research International (2014) 61, 214–227.
- [5] Yassin, G. H., Grun, C., Koek, J. H., Assaf, K. I., Kuhnert, N., Journal of Mass Spectrometry (2014) 49, 1086–1095.
- [6] Cuyckens, E., Claeys, M., J. Mass Spectrom. (2005) 40, 364–372.
- [7] Kachlicki, P., Einhorn, J., Muth, D., Kerhoas, L., Stobiecki, M., Journal of Mass Spectrometry (2008) 43, 572–586.
- [8] Arapitsas, P., Sjöberg, P. J. R., Turner, C., Food Chem. (2008) 109, 219–226.
- [9] Takagaki, A., Nanjo, F., Biological and Pharmaceutical Bulletin (2015) 38, 789–794.
- [10] Crozier, A., Jaganath, I. B., Clifford, M. N., Phenols, Polyphenols and Tannins: An Overview. In Plant Secondary Metabolites: Occurrence, Structure and Role in the Human Diet, Crozier, A., Clifford, M. N., Ashihara, H., Eds. Blackwell Publishing Ltd., 2006.
- [11] Fine, A. M., Alternative Medicine Review (2000) 5, 144–151.
- [12] Green, B. G., Acta Psychologica (1993) 84, 119–125.
- [13] Reed, J. D., Krueger, C. G., Vestling, M. M., Phytochemistry (2005) 66, 2248–2263.
- [14] Castaneda-Ovando, A., et al., Food Chem. (2009) 113, 859–871.
- [15] Tian, Q. G., Giusti, M. M., Stoner, G. D., Schwartz, S. J., J. Chromatogr. A (2005) 1091, 72–82.
- [16] Ifie, I., Abrankó, L., Villa-Rodriguez, J. A., Papp, N., Ho, P., Williamson, G., Marshall, L. J., Food Chemistry, 2017.
- [17] Brand, W., et al., Journal of Agricultural and Food Chemistry (2010) 58, 6119–6125.
- [18] Del Rio, D., et al., Antioxidants & Redox Signaling (2013) 18, 1818–1892.
- [19] Abrankó, L., Nagy, Á., Szilvássy, B., Stefanovits-Bányai, É., Hegedűs, A., Food Chemistry (2015) 166, 215–222.
- [20] Omar, S. H., Scientia Pharmaceutica (2010) 78, 133–154.
- [21] Del Rio, D., Costa, L. G., Lean, M. E. J., Crozier, A., Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases (2010) 20, 1–6.
- [22] Luo, F., et al., Journal of Functional Foods (2014) 8, 282–291.
- [23] Torres-León, C., et al., Journal of Functional Foods (2017) 37, 176–189.
- [24] Landete, J. M., Food Research International (2011) 44, 1150–1160.
- [25] Clifford, M. N., Journal of the Science of Food and Agriculture (1999) 79, 362–372.
- [26] IUPAC Commission on the Nomenclature of Organic Chemistry (CNOC) and IUPAC-IUB Commission on Biochemical Nomenclature (CBN). Nomenclature of cyclitols. Recommendations, 1973. Biochemical Journal (1976) 153, 23–31.
- [27] Zhang, F.-x., et al., Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis (2018) 155, 216–234.
- [28] Yingngam, B., Monschein, M., Brantner, A., Asian Pacific Journal of Tropical Medicine (2014) 7, S497–S505.
- [29] Rita, I., Pereira, C., Barros, L., Ferreira, I. C. F. R., Food Chemistry (2018) 257, 83–89.
- [30] Abrankó, L., Clifford, M. N., Journal of Agricultural and Food Chemistry (2017) 65, 3602–3608.
- [31] Clifford, M. N., Johnston, K. L., Knight, S., Kuhnert, N., Journal of Agricultural and Food Chemistry (2003) 51, 2900–2911.
- [32] Clifford, M. N., Kirkpatrick, J., Kuhnert, N., Roozendaal, H., Salgado, P. R., Food Chemistry (2008) 106, 379–385.
- [33] Clifford, M. N., Knight, S., Kuhnert, N., Journal of Agricultural and Food Chemistry (2005) 53, 3821–3832.
- [34] Clifford, M. N., Knight, S., Surucu, B., Kuhnert, N., Journal of Agricultural and Food Chemistry (2006) 54, 1957–1969.
- [35] Duarte, G. S., Pereira, A. A., Farah, A., Food Chemistry (2010) 118, 851–855.
- [36] Monteiro, M. C., Farah, A., Food Chemistry (2012) 134, 611–614.
- [37] Perrone, D., Farah, A., Donangelo, C. M., de Paulis, T., Martin, P. R., Food Chemistry (2008) 106, 859–867.
- [38] Mayta-Apaza, A. C., et al., The Journal of Nutritional Biochemistry (2018) 59, 160–172.
- [39] Nagy, Á., Abrankó, L., Journal of Mass Spectrometry (2016) 51, 1130–1145.
- [40] 1924/2006/EK rendelet Az élelmiszerekkel kapcsolatos, tápanyag-összetételre és egészségre vonatkozó előírásokról. In TANÁCS, A. E. P. É. A., Ed. 2006. Vol. 1924/2006/EK RENDELETE.
- [41] Turck, D., et al., A Scientific and technical guidance for the preparation and presentation of a health claim application (Revision 2) EFSA NDA Panel (EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies), 2017, p e04680.
- [42] Williamson, G., Clifford, M. N., British Journal of Nutrition (2010) 104, S48–S66.

## 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 Élelmiszerkémiai 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

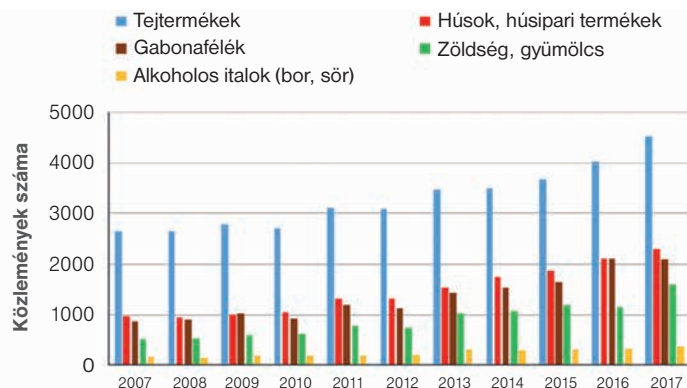
Az élelmiszer-minőség és -biztonság megítélésében a fehérjéknek, aminosavaknak és származékaiknak, a biogén aminoknak alapvető szerepe van. Mindemellett nagy jelentőségűek számos növényfiziológiai folyamatban is.

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

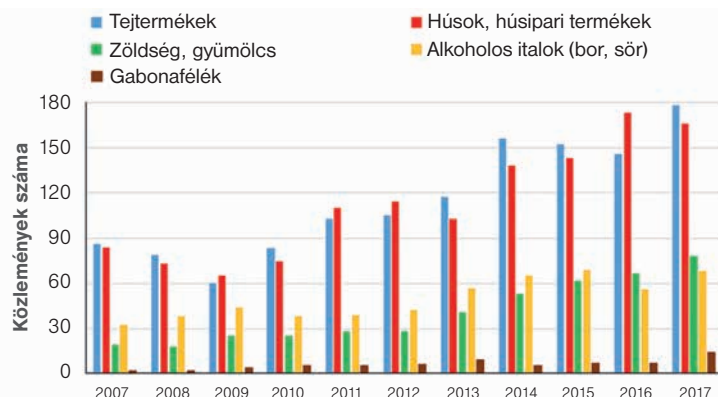
közlemény mutatja a terület kiemelkedő fontosságát az újabb és újabb szempontok, megoldásra váró feladatok megjelenésével.

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.



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 szemiezzenciális 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 aminosavnak* 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 módszer-dolgozás és -alkalmazás területén, de a századfordulót követően ismételtlen 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

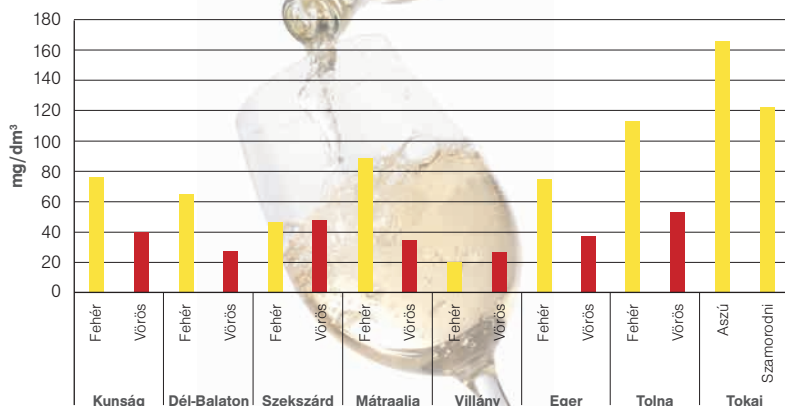
aminosavak. A szabad aminosavak mennyisége és minősége jellegzetesen különbözik még az azonos típusú alapanyagok (pl. hús) eltérő fajtái (pl. sertés, marha, juh) esetén is, továbbá az élelmiszer-előállítás, a feldolgozás vagy a tárolás körülményei nagymértékben befolyásolják a termékek végső szabad aminosav-összetételét.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



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 tiraminttartalma okozta megbetegedéseket „sajt-szindró-

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

A biogén aminok vazó- és pszichoaktív hatásuknak köszönhetően nagy mennyiségben a szervezetbe kerülve kedvezőtlen reakciókat (fejfájás, hasmenés, bőrkiütés, 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-tartalmukat illetően, míg az állati eredetű, főként fermentált élelmiszerek azok, amelyeknek biogénamin-tartalma meghaladhatja a határértéket [13].

Az egészséges szervezet számára az aminoxidáz enzimrendszer 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 tiramintára 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 hisztamintartalomra 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.

$$BAI = \frac{\text{hisztamin} + \text{putreszcint} + \text{kada-verin}}{1 + \text{spermidin} + \text{spermin}}$$

ahol a koncentrációk mg/kg egységben vannak megadva. Három kategóriát hoztak létre: 0–2 BAI között frissnek, 2–10 BAI között kissé romlottnak, 10 BAI felett romlottnak 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 kutatásterület alapvető dokumentumává vált a több mint 700 hivatkozással.

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 a kérdéskör bonyolultságát az élelmiszertípusok, alkalmazott analitikai módszerek stb. vonatkozásában, így csak általános megállapítások születtek felvázolva a további teendőket a kutatások és a szabályozás terén.

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



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.

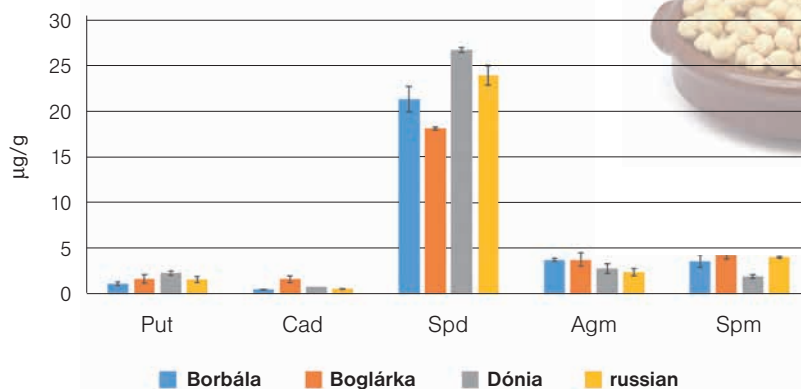
## Élelmiszerek biogénamin-tartalmának csökkentése

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 dózisú 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 visszazorította a romlásindikátor putreszcint (Put) és kadaverint (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 félke-mény sajtok biogénamin- és szabad aminosav-tartalmának változására tárolás során (5 hét, 13 °C) megállapítottuk, hogy az 5 hetes tárolás alatt a kontroll sajtminták szabad aminosav-tartalma nőtt mind a szelektált baktériumtörzssel (*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 törzssel 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. Csicszeriborsó-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 sajtminták 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* törzssel készített sajtokban a kadaverin (45%) és a putreszcint (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 kísérlet sorozathoz hasonlóan, kedvező eredményt szolgáltattak [30].

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

Az élelmiszer-minőséggel és élelmiszer-biztonsággal összefüggő kutatásainkat kiterjesztettük a hüvelyesek szisztematikus vizsgálatára. Az ENSZ Élelmészügyi 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 csicszeriborsó-

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 stressztűrőbb fajták 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 molekulasúlyú 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 fajták 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



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 deléción befolyásolta a Pro, Arg, Val és Lys koncentrációját is. A sóstresszt követően a putreszcin és a spermidin mennyisége kisebb lett a deléciós vonalakban a Chinese Spring fajtahoz 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. Ennek 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 növényfiziológia területén.

**Közönetnyilvánítás.** A kísérleteket a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (ANN17949, TÉT\_15\_IN-1-2016-0028, EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00005 azonosítójú pályázatok) támogatta.

## IRODALOM

- [1] Hegedűs, M., Kraloványzky, U.P., Mátrai, T. (szerk.) in: A takarmányfélék minősítése Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1981.
- [2] László, 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. Quilés, M. Rafecas, J. Funct Foods (2014), 10, 407–420.
- [6] P. Jannoey, 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 Oxidation (Pályi, G., Zucchi, C., Caglioti, L. eds), Elsevier, Oxford (GB), 2004, 339–353.
- [12] F. 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.) Elsevier 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. Holzapfel. 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. Janieri, M. J. Fraquez, 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, S.H. 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/pp1.12510
- [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.