

ÉLELMISZERVIZSGÁLATI

K Ö Z L E M É N Y E K

JOURNAL OF FOOD INVESTIGATION

T U D O M Á N Y - É L E T - M I N Ő S É G - B I Z T O N S Á G

LXVII. ÉVFOLYAM 4. SZÁM
VOL. 67, 2021 NO. 4

SCIENCE – LIFE – QUALITY – SAFETY

2021. DECEMBER 31.
31 DECEMBER 2021

Mikroalgák előnyös tulajdonságainak kiaknázása élelmiszeripari és takarmányozási felhasználásra

Exploiting the beneficial properties of microalgae for food and feed usage

Piros gyümölcsök jellemzői frissen és liofilizálás utáni állapotban

Szártott bazsalikkal dúsított kenyerek vizsgálata

Kereskedelmi forgalomban kapható kapszulás kávék akrilamid tartalma

Élelmiszerek ásványianyag-tartalma - Alumínium az élelmiszerekben

Characteristics of fresh and lyophilized red fruits

- *Examination of bread enriched with dried basil*
- *Acrylamide content of commercially available different types of coffees*
- *Minerals in Foodstuffs - Aluminium in foodstuffs*



www.eviko.hu

TARTALOM – CONTENTS

Mikroalgák előnyös tulajdonságainak kiaknázása élelmiszeripari és takarmányozási felhasználásra (KOPPÁNYNÉ SZABÓ Erika, TAKÁCS Krisztina)	3619
<i>Exploiting the beneficial properties of microalgae for food and feed use (Erika KOPPÁNYNÉ SZABÓ, Krisztina TAKÁCS)</i>	3634
Piros gyümölcsök minőségi jellemzői friss és liofilizálás utáni állapotban (TOPA Emőke, ALEXA Loránd, VARGA-KÁNTOR Andrea, KOVÁCS Béla, CZIPA Nikolett)	3649
<i>Quality characteristics of red fruits fresh and after lyophilization (Emőke TOPA, Loránd ALEXA, Andrea VARGA-KÁNTOR, Béla KOVÁCS, Nikolett CZIPA)</i>	3657
Szárított bazsalikkal dúsított kenyerek vizsgálata és eredményeinek értékelése (VARGA-KÁNTOR Andrea, ALEXA Loránd, TOPA Emőke, KOVÁCS Béla, CZIPA Nikolett)	3665
<i>Examination of breads enriched with dried basil and evaluation of the results (Andrea VARGA-KÁNTOR, Loránd ALEXA, Emőke TOPA, Béla KOVÁCS, Nikolett CZIPA)</i>	3672
Kereskedelmi forgalomban kapható kapszulás kávék akrilamid tartalma (SCHMIDT Noémi)	3679
<i>Acrylamide content of commercially available capsule coffees (Noémi SCHMIDT)</i>	3686
Élelmiszerek ásványi anyag tartalma – Alumínium az élelmiszerekben (SZABÓ S. András)	3693
<i>Minerals in Foodstuffs – Aluminium in foodstuffs (András SZABÓ S.)</i>	3698
Nemzeti szabványosítási hírek (SZALAY Anna)	3703
<i>Review of national standardization (Anna SZALAY)</i>	3705

ISSN 0422-9576

OPEN



ACCESS

Tudományos folyóiratunk tartalma 2021-től szabadon hozzáférhető a www.eviko.hu honlapon.

The content of our scientific journal will be freely available on the website www.eviko.hu from 2021.



Kedves Olvasóink!

Ismét Advent van. „Advent a várakozás megszentelése. Rokona annak a gyönyörű gondolatnak, hogy meg kell tanulnunk vágyakozni az után, ami a miénk... Az, aki szeretni tudja azt, ami az övé – szabad és mentes a birtoklás minden görcsétől, kielégíthetetlen éhétől – szomjától!.”

Engedjék meg, hogy Pilinszky János magyar költő gondolatait idézzem, miközben a megújult ÉVIK hetedik évfolyamának utolsó számához írott beköszöntőt fogalmazom. Tudományos szakfolyóiratunkat kerek hét esztendeje szerkesztjük és adjuk ki. Remélem, az eltelt hét év alatti várakozásunk úgy szakmailag, mint emberileg valóra válik, s az Élelmiszervizsgálati Közlemények Olvasói, szerzőgárdája, a kiadásban érdekelt kollégák olyan közösséget fognak alkotni, amely összetartó erejénél fogva még sok évig biztosítja periodikánk fennmaradását.

Téli számunk vezető anyaga az emberiség hosszútávú fehérje-ellátásának megoldási kísérleteivel kapcsolatos. **Koppányné Szabó Erika** és **Takács Krisztina** dolgozatukban arról számolnak be, hogy a rohamosan szaporodó emberiség fehérjeigényének kielégítéséhez a hagyományos élelmiszer-alapanyagokon kívül forradalmian más forrásokat is biztosítani kell. Kéziratukban rámutatnak, hogy bizonyos algafajok nemcsak jelentős fehérjetartalmuk és kedvező aminosav összetételük miatt kiemelkedő fontosságúak, hanem számos értékes molekula, például többszörösen telítetlen zsírsavak, pigmentek, antioxidánsok, gyógyszerek és egyéb biológiailag aktív vegyületek forrásai is lehetnek.

Topa Emőke dolgozatában a piros színanyagokat tartalmazó, friss állapotú és fagyasztva szárított gyümölcsök összetételei jellemzőit hasonlította össze. Saját mérési eredményei alapján megállapította, hogy a fagyasztva szárítás az atmoszférikus szárítással végzett tartósítási módszerhez képest számottevően kíméletesebb eljárás, a gyümölcsökben több biológiailag értékes összetevő megmaradását biztosítja.

Táplálkozási kultúránkban évről-évre nagyobb jelentőségűek a funkcionális élelmiszer-összetevők. **Varga-Kántor Andrea** és **munkatársai** őrölt bazsalikommal készített kenyerek polifenol-, flavonoid- és mikroelem-tartalmát, valamint általános összetevőit vizsgálták. Mérési eredményeik alapján megállapították, hogy a kisütött kenyerekben sikerült kimutatni – az egyébként hőérzékeny – polifenolok és egyéb antioxidáns vegyületek mennyiségének növekedését.

Az EU Bizottsága 2017-ben rendeletet² adott ki a fehérjéket és redukáló cukrokat együtt tartalmazó, sütött élelmiszerekben keletkező genotoxikus hatású akrilamid mennyiségének csökkentése érdekében. **Schmidt Noémi** a különböző pörkölési fokú pörköltkávék eredeti, a kávéitalokba beleoldódó, illetve egyes koffeinmentesített kávékban kimutatható akrilamid mennyiségét vizsgálta. Megállapította, hogy sem a lefőzött kávék és őrölt párjaik között, sem a koffein-mentesített készítmények esetén nem volt szignifikáns különbség azok akrilamid-tartalmát illetően.

Szabó S. András cikksorozatában ezúttal az élelmiszerekben előforduló alumíniumról ír. A szilárd élelmiszerekből és az italokból a makroelemeket követően a legnagyobb mennyiségben az alumínium és a szilícium jut az emberi tápcsatornába. Az EFSA a heti, legfeljebb 1 mg/tesztömeg-kg Al-felvételt tekinti elfogadhatónak. Az alumíniumnak az emberi szervezetre gyakorolt élettani hatásait egyelőre nem sikerült hitelt érdemlő módon megállapítani.

Az év végéhez közeledve Olvasóinknak kellemes adventi időszakot, jó olvasást, áldott karácsonyt és boldog újszentendőt kívánok.

Észrevételeiket, építő jellegű javaslataikat továbbra is várjuk a szigeti.tamas@wessling.hu e-mail címen.

Dr. Szigeti Tamás János
főszerkesztő

¹ Pilinszky János: Advent

² A Bizottság (EU) 2017/2158 rendelete (2017. nov. 20.)



Dear Readers!

There is advent again. *“Advent is the sanctification of anticipation. It is a relative of the beautiful idea that we must learn to long for what is ours ... She or he who can love what is own - free and free from all the cramps and insatiable hunger of possession¹.”*

Let me cite the thoughts of the Hungarian poet János Pilinszky, while I'm writing the welcome introduction to the last issue of the seventh year of the renewed JFI. We have been editing and publishing our scientific journal for seven years. I hope that our expectations over the past seven years will come true professionally and humanly, additionally the Readers of the Journal of Food Investigation, the Authors of the manuscripts and the Colleagues who are interested in the publishing, will form a community that will support our periodicals survive for many years to come.

The leading article in our winter issue is related to mankind's attempts to solve its long-term protein supply. In their manuscript, **Erika Koppányné Szabó** and **Krisztina Takács** report that in order to meet the protein needs of the rapidly growing global population, revolutionary other sources must be provided in addition to traditional food ingredients. Their paper points out that certain species of algae are of paramount importance not only because of their high protein content and favourable amino acid composition, but also as a source of many valuable molecules such as polyunsaturated fatty acids, pigments, antioxidants, pharmaceuticals and other biologically active compounds.

In her work, **Emőke Topa** compared the compositional characteristics of fresh and freeze-dried fruits containing red dyes. Based on her own measurement results, it was found that freeze-drying is a considerably more gentle process compared to the preservation method with atmospheric drying, ensuring the preservation of several biologically valuable ingredients in fruits.

Functional food ingredients are becoming more important year by year in our nutritional culture. **Andrea Varga-Kántor and her colleagues** studied the polyphenol, flavonoid and microelement content and some common ingredients of breads made with ground basil. Based on the results of their measurements, it was found that an increase in the quantity of polyphenols and other antioxidant compounds, which are otherwise heat-sensitive, was detected in the baked breads.

In 2017, the EU Commission issued a regulation² to reduce the amount of genotoxic acrylamide in baked and roasted foods, which contains both proteins and reducing sugars. **Noémi Schmidt** studied the amount of acrylamide in roasted coffees with different degrees of roasting, which can be dissolved in coffee drinks and detected in some decaffeinated coffees. It was found that there was no significant difference in the acrylamide content of either the brewed coffees and their ground counterparts or the decaffeinated formulations.

In next part of article series, **András S. Szabó** writes about presence of aluminium in our foods. From solid foods and beverages, the intake of aluminium and silicon the second largest amount after the macronutrients. EFSA considers a weekly intake maximum 1 mg/kg body weight to be acceptable. The physiological effects of aluminium on the human body have not yet been established in a credible manner.

Towards the end of the year, I wish our readers a pleasant Advent period, good reading, Merry Christmas, and happy New Year. We are still waiting for your comments and constructive suggestions via the e-mail address sziget.tamas@wessling.hu.

Dr. Tamás János Szigeti
editor-in-chief

¹ János Pilinszky Hungarian poet: Advent

² Commission Regulation (EU) 2017/2158 of 20 Nov. 2017

Mikroalgák előnyös tulajdonságainak kiaknázása élelmiszeripari és takarmányozási felhasználásra

Kulcsszavak: mikroalga, fehérje, összetétel, takarmányozás, élelmiszeripari felhasználás, éghajlatváltozás, karbon-lábnyom

1. ÖSSZEFOGLALÁS

2050-re az előrejelzések alapján várhatóan 9,8 milliárd ember fog élni a Földön, ami azt jelenti, hogy jelenlegi élelmiszer-termelésünket a duplájára kell emelnünk, hogy lépést tudjunk tartani a népesség ilyen nagymértékű növekedésével. Emellett az üvegházhatást fokozó széndioxid kibocsátás emelkedő mértéke és az ehhez kapcsolódó klímaváltozás a bolygó létfenntartó képességét jelentősen megterhelik. A növényi fehérjék mennyiségének növeléséhez azonban növelni kell a termőterületek nagyságát, a betakarítás gyakoriságát, illetve a termelt mennyiséget. Azonban mindezek optimálása már jelen helyzetben is igen közel jár az elérhető maximumhoz. A kialakított művelési rendszerek, a talajerő maximális kihasználása igen komoly környezeti problémákhoz, talajpusztuláshoz, a biodiverzitás csökkenéséhez, valamint a megtermelt növényi alapanyagok szállítása révén komoly környezetszennyezéshez vezetnek. Ez komoly kihívást jelent a biztonságos élelmiszerellátás számára, tovább növeli az éhezés kockázatát. Szükség van tehát olyan mezőgazdasági gyakorlatra, melynek eredményeképpen jobb fenntarthatósági mutatókkal és a klímaváltozással szemben ellenálló élelmiszer- és takarmánynövények termesztetők, melyek révén biztonságosan előállíthatók az egészséget támogató takarmányok, új és értéknövelt élelmiszerek. Ezen belül is különösen a lakosság fehérje ellátása jelent problémát, hiszen jelenleg is körülbelül egymilliárd embernek nem megfelelő a fehérjebevitel. A növekvő fehérjeigények kielégítéséhez azonban a hagyományos fehérjeforrások nem elegendők. Amint azt a fentiekben említettük az élelmiszer- és takarmány-fehérjék alapját a növényi fehérjék jelentik. Az utóbbi években az alternatív fehérjék kutatásának, pozitív és negatív tulajdonságai feltérképezésének kiemelt szerepet tulajdonítanak. Az alternatív fehérjék között kiemelt figyelmet kapnak a különböző élesztők, gombák, baktériumok, algák, egysejtfehérjéknek (SCP - Single cell protein) valamint a rovarok. Jelen cikkünkben az algák, közülük is a mikroalgák bemutatására helyezzük a hangsúlyt, amelyek nem csak jelentős fehérje-tartalmuk és kedvező aminosav összetételük miatt kiemelkedő fontosságúak, hanem számos értékes molekula, például többszörösen telítetlen zsírsavak, pigmentek, antioxidánsok, gyógyszerek és egyéb biológiailag aktív vegyületek forrásai is. Fontos a mikroalga-biomassa megismerése innovatív célú egészségvédő élelmiszertermékek kifejlesztése céljából.

¹ Magyar Agár-és Élettudományi Egyetem, Budai Campus, Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet, Élelmiszertudományi Kutatócsoport

2. Bevezetés

2050-re a Föld lakossága közel 10 milliárd főre növekszik, amely napjaink lakosságához képest mintegy 25%-os növekedést jelent. Mindemellett Földünk vízkészleteinek jelentős csökkenése is szükségessé teszi, hogy átalakítsuk táplálkozásunk szerkezetét, hiszen 1 kg élelmiszer előállításához szükséges vízmennyiség szarvasmarha esetén 13000 liter; csirke esetén 5520 liter, míg borsó vagy lencse esetén mindössze 50 liter. Mindez azt jelenti, hogy a jövőben számolhatunk az állati eredetű élelmiszerek árának jelentős növekedésével, amely azt eredményezi, hogy táplálkozásunk során jelentősen csökkentenünk kell ezek arányát.

A különböző növényi fehérjeforrások kedvezően járulnak hozzá a környezetvédelemhez és a klímaváltozás elleni küzdelemhez a hatékonyabb vízhasznosításuk miatt, másrészt például a hüvelyes növények nitrogénkötő tulajdonságuk révén 30-70%-kal kevesebb szintetikus műtrágyát igényelnek, megnövelik a talajerőt és kedvezően befolyásolják a talajbiológiát is. Ismert tény továbbá, hogy a tápanyag-transzformációs veszteségek miatt, 1 kg állati eredetű fehérje előállításához min. 6-16-szor nagyobb művelhető terület szükséges. Emellett az állati eredetű élelmiszerek, különösen a marhahúsra alapozott élelmiszerek előállításának széndioxid lábnyoma mintegy 10-szerese a növényi alapú élelmiszerekének.

Európa élelmiszerfogyasztási szerkezetére jellemző, hogy a napi fehérje bevitel 59%-át állati eredetű fehérjeforrások (hús, hal, tej) teszik ki és csak 41%-ot képvisel a növényi eredetű fehérjék részaránya. Ez utóbbinak több mint 50%-a búzafehérje. Ennek következtében válhatott néhány gabonaféle (búza, kukorica, rizs) alapélelmiszerré, mely az élelmiszerek földrajzi homogenitásához, az étrend egyhangúságához és táplálkozási egyensúlyhiányhoz vezetett, megnövelve ezzel a mikro-tápanyaghiányt, a túlsúlyt és a kóros elhízást, továbbá a NCDs (Non Communicable Diseases – nem fertőző betegségek), beleértve a szív- és érrendszeri megbetegedéseket, az agyvérzést, a rák és a cukorbetegség kockázatát.

Mindezek alapján egyre fontosabbá válik az említett fehérjeforrások mellett olyan alternatív növényi és egyéb fehérjeforrások feltérképezése és vizsgálata, amelyek hozzájárulhatnak a növekvő számú emberiség fehérjeszükségletének kielégítéséhez, valamint kiegyensúlyozatlan tápláltsági állapotának kezeléséhez.

A fehérjenövények fontos csoportját a nagy fehérje-tartalommal (átlagosan 20-40%) rendelkező hüvelyes növények (pl. szárazbab, futóbab, csicseriborsó, lóbab, lencse, szegletes lednek, homoki bab, száraz borsó, őszi és tavaszi borsó) képviselik. A száraz hüvelyes magvak fehérjében gazdagok, kéntartalmú aminosavakban szegények és lizinben gazdagok. A jó beltartalmi értékekkel, de alacsony fehérje-tartalommal rendelkező szántóföldi növények (pl. napraforgó, canola, kukorica, cirok, rizs, búza), ugyanakkor lizinben szegények, kéntartalmú aminosavakban gazdagok. A két növénycsoport pozitív beltartalmi értékeit figyelembe véve együttes alkalmazásukkal teljes értékű növényi fehérjét tartalmazó termékek fejleszthetők ki.

1. táblázat. Különböző haszonnövények fehérjetartalma [1]

Fehérjenövény	Mag fehérjetartalma
Búza	8-15 %
Rizs	7-9 %
Kukorica	9-12 %
Árpa	8-15 %
Cirok	9-17 %
Szója	35-40 %
Borsó	20-30 %
Csicseriborsó	20-25 %
Canola	17-26 %
Csillagfűrt	35-40 %

A különböző haszonnövények fehérjetartalma (**1. táblázat**) nemcsak a fajok között mutathat jelentős variabilitást, hanem az adott fajon belül is. A fehérjetartalmat ezeken túlmenően a környezeti tényezők, és az élelmiszer feldolgozási technológia is módosíthatják.

További alternatív fehérjeforrásokat jelenthetnek a fermentációs technológiákkal előállított egysejt fehérjék (Single Cell Protein, SCP), a sós vizekben élő tengeri moszatok, az édesvízi vízfelszínen élő békalencse fajok, és a különböző rovarfajok. Az egyes források fehérjetartalmának értékei jelentős skálán mozoghatnak a fajoktól és a termesztési technológiától, tápanyagellátottságtól függően (**2. táblázat**).

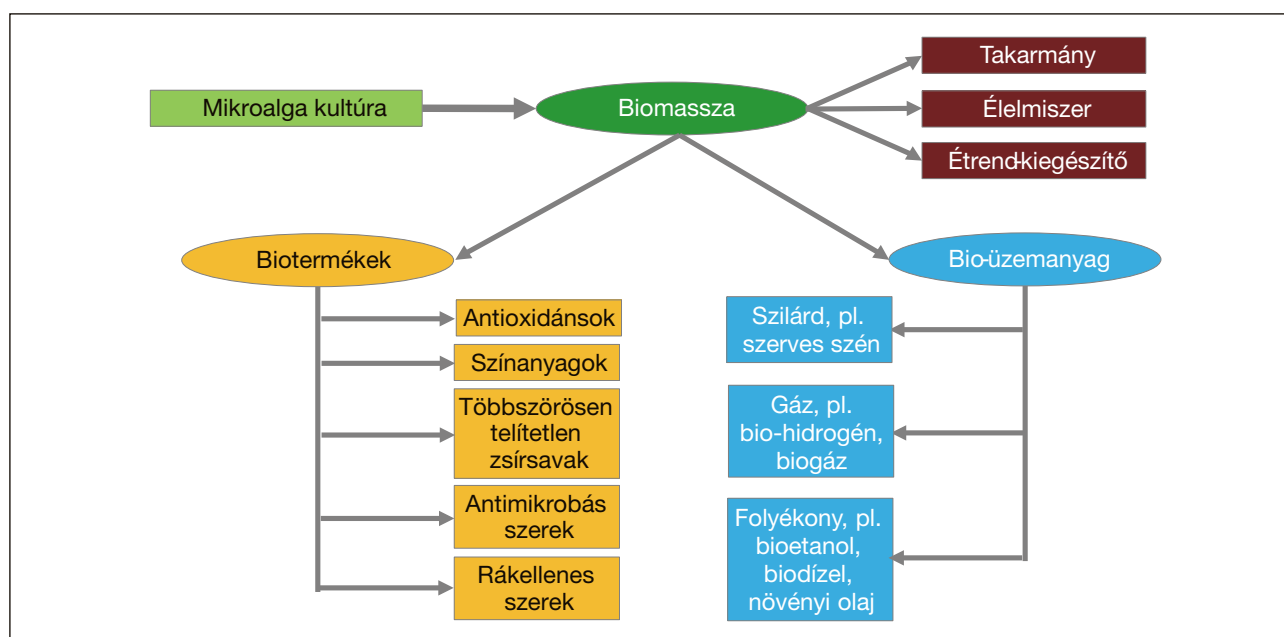
2. táblázat. Egyes alternatív fehérjeforrások fehérjetartalma [1]

Fehérjeforrások		Fehérjetartalom
SCP	Mikroalgák	40-60%
	Élesztőgombák	45-65%
	Fonális gombák	35-50%
	Baktériumok	40-60%
Tengeri moszat		5-47%
Békalencse		20-35%
Rovarok		20-76%

3. Mikroalgák jellemzése és előfordulása

Az algák vagy más néven moszatok fotoszintézisre képes eukarióták. Az algák az egyik legrégebbi földi életformát képviselik, kb. 3 milliárd éve léteznek bolygónkon. A világ összes élőanyag-mennyiségének az egyharmadát, a Földön keletkező szerves szén mintegy 50%-át állítják elő [1]. E növények túléltek az összes földtörténeti korszakot és a klímaváltozásokat is. A Föld oxigéntermelésének 90%-át még ma is az algák adják. Ezek az élőlények tették lehetővé, hogy a Földön kialakuljon az élet, emellett a napfény erejét felhasználva fotoszintézis által szerves anyagokból szerves táplálékot állítanak elő. Az algák sok tekintetben az élővilág legváltozatosabb élőlényei. A legegyszerűbb felépítésűek, a baktériumokkal mutatnak közeli rokonságot. A legbonyolultabbak, a *Charophyceae*-fajok az összetéveszthetőségig hasonlítanak a hínárokhoz. A legapróbb algák a 0,5 µm-es pikoalgák, a legnagyobbak az 50-100 m-es *Macrocystis*-fajok (*Phaeophyceae*). A legszélsőségesebb körülmények között fordulhatnak elő édes és sós vízben, hőforrásokban és hó-, jégfelületeken, talajban és egyes sziklák felső rétegében [2]. Az algák többnyire eukarióták, amelyeket jellemzően, az „alacsonyabb rendű „ növények közé sorolunk, amelyeknek nincs valódi szára, gyökere és levelei, és általában fotoszintézisre képesek. Az algákat széles körben *Rhodophyta* (vörös algák), *Phaeophyta* (barna algák) és *Chlorophyta* (zöld algák) kategóriákba sorolják, és méret szerint makroalgák vagy mikroalgák közé sorolják őket. A makroalgák (tengeri moszatok) többsejtű, nagyméretű algák, amelyek szabad szemmel láthatók, míg a mikroalgák mikroszkopikus egysejtek, és lehetnek prokarióták, hasonlóak a cianobaktériumokhoz (*Chloroxybacterium*), vagy eukarióták, hasonlóak a zöld algákhoz (*Chlorophyta*).

A mikroalgák, mint kiváló forrásai a különböző szerves szénvegyületeknek, felhasználhatók egészségügyi kiegészítők, gyógyszerek és kozmetikumok előállításához [2]. Alkalmazhatják őket a szennyvíztisztításban, a légköri CO₂ csökkentésében és a bioüzemanyagok gyártásában is. A mikroalgákból biotermékek széles skálája nyerhető ki, úgy, mint poliszacharidok, lipidek, pigmentek, fehérjék, vitaminok, bioaktív vegyületek és antioxidánsok [3]. Mindezek mellett egyre fontosabb szerephez jutnak a takarmányozásban és az élelmiszeriparban is (1. ábra).



1. ábra. Mikroalgák felhasználási lehetőségei [3]

4. Mikroalgák általános összetétele

Mint minden más magasabb rendű növény esetében, az algák kémiai összetétele a tenyésztés módjának függvényében – környezeti paraméterek, a hőmérséklet, megvilágítás, pH-érték és a közeg ásványianyag-tartalma, CO₂-ellátás, keverési sebesség – változik: 9-77% fehérje, 6-54% szénhidrát, 4-74% lipid (**3.táblázat**)

3. táblázat. Egyes élelmiszer alapanyagok és mikroalgák fehérje-, szénhidrát- és zsírtartalmának összehasonlítása

Élelmiszer alapanyagok	Fehérje (%)	Szénhidrát (%)	Zsírok (%)
Pékélesztő	39	38	1
Hús	43	1	34
Tojás	47	4	41
Tej	26	38	28
Rizs	8	77	2
Szója	37	30	20
Mikroalgák			
Anabaena cylindrical	43-56	25-30	4-7
Chaetoceros Calcitrans	36	27	15
Chlamydomonas reinhardtii	48	17	21
Chlorella pyrenoidosa	57	26	2
Chlorella vulgaris	51-58	12-17	14-22
Diacronema vlkianum	57	32	6
Dunaliella salina	39-61	14-18	14-20
Euglena gracilis	10	40	41
Haematococcus pluvialis	48	27	15
Isochrysis galbana	50-56	10-17	12-14
Porphyridium cruentum	8-18	21-52	16-40
Scenedesmus obliquus	6-20	33-64	11-21
Scenedesmus dimorphus	60-71	13-16	6-7
Spirulina maxima	46-63	8-14	4-9
Spirulina platensis	52	15	3

4.1. Mikroalgák fehérje és aminosavtartalma

Kutatások eredményei alapján elmondható, hogy az alga a növényi fehérjékhez hasonló aminosavösszetételű fehérjeforrás. A nettó fehérjehasznosulás – vagyis a megfelelő aminosavösszetétel, emészthetőség, illetve a biológiai érték - vizsgálata is hasonló eredményhez vezetett.

Számos mikroalgafaj nagyobb mennyiségben termel különböző esszenciális aminosavakat és fehérjét – ez az egyik fő oka, hogy kiemelkedő helyet töltenek be az alternatív fehérjék között – amelyek felhasználhatók élelmiszerekben és takarmányokban. A mikroalgák egyes fajai ugyanannyi fehérjét termelhetnek, mint más gazdag fehérjeforrások, pl. tojás, hús és tej stb. [6].

Ezen kívül szinte minden algafaj aminosav-mintázata is nagyon hasonló számos élelmiszer fehérje-mintázatával. Az aminosavak közül csak ciszteinben és lizinben szegényebbek. Mivel a sejtek képesek szinte minden aminosavat szintetizálni, biztosítani tudjuk általuk mind az ember, mind az állatok esszenciális aminosav szükségletét [7]. A mikroalgák által szintetizált aminosavak összetétele – különösen a szabad aminosavak mennyisége, összetétele változó, nagymértékben függ a fajtól, a növekedési feltételektől és a növekedési fázistól is [8].

Mindezek mellett a mikroalga fehérjék jól emészthetők és viszonylag magas tápértékkel is rendelkeznek. A mikroalgák 2,5-7,5 tonna/ha/év fehérjét termelnek [9], a zöld mikroalga *Chlorella* például a különböző típusú, értékesített fehérjék gazdag forrása. Egy másik fehérjében gazdag mikroalga az *Arthrospira*. A mikroalgákból származó fehérjék a koleszterokinin aktiválása révén csökkentik a koleszterinszintet. Emellett más fontos enzimikus hatásuk is van [10]. A *Lyngbya majuscula* nevű mikroalga például mikrokolin-A-t, egy immunszuppresszív hatású fehérjét termel [11]. A *Nostoc* mikroalga a cianovirin nevű fehérjét állítja

elő, amelyről ismert, hogy vírusellenes hatást fejt ki a HIV és az influenza vírus ellen is [12]. Az *Anabaena* és a *Porphyridium* fajok ugyanakkor SOD (szuperoxid-diszmutáz) enzimet termelnek, amely véd az oxidatív károsodások ellen, míg az *Isochrysis galbana* karboanhidráz enzimet állít elő, amely kulcsfontosságú szerepet játszik a CO₂ szénsavvá és bikarbonáttá alakításában. Az *Microcystis aeruginosa* számos aminosavat termel, beleértve a prolint, a szerint, a glicint és a valint.

4.2. Zsírsavak

A többszörösen telítetlen zsírsavak fontos szerepet töltenek be a szövetek védelmében és jótékony hatással vannak az egészségre. Az omega-3 és omega-6 zsírsavak különösen fontosak az emberek számára, de az emberi szervezet ezeket a zsírsavakat nem képes előállítani. Ezért elengedhetetlen a külső forrásból, így például a különböző élelmiszerekből történő bevitel. A dokozahexaénsavról (DHA), a linolsavról, az eikozapentaénsavról (EPA), az arachidonsavról és a gamma-linolénsavról kimutatták, hogy koleszterinszint csökkentő hatással bírnak, késleltetik az öregedést, védik a membrán integritását és megelőzik a szív- és érrendszeri betegségeket [13,14]. Számos olyan mikroalga fajt vizsgáltak, amelyek ezen értékes zsírsavak szintetizálására képesek. Ezek a kutatások azt igazolták, hogy a *Pavlova lutheri* nagy mennyiségben termel többszörösen telítetlen zsírsavakat [15], míg az *Arthrospira platensis* elsősorban stigmaszterint, szitoszterint és γ -linolénsavat állít elő és halmoz fel [16], a *Porphyridium* arachidonsavat, a *Nannochloropsis*, *Phaeodactylum*, *Nitzschia*, *Isochrysis*, *Diacronema* fajok eikozapentaénsavat, valamint a *Crypthecodinium* és *Schizochytrium* mikroalga fajok dokozahexaénsavat termelnek jelentősebb mennyiségben [17, 18, 19].

A többszörösen telített EPA és a DHA gyógyászatilag is kiemelkedően fontos omega-3 zsírsavak. Kulcsfontosságúak a gyulladásos betegségek, szívproblémák, ízületi gyulladások, asztma és fejfájás stb. gyógyításában [20, 21, 22].

4.3. Poliszaccharidok

A poliszaccharidokat széles körben használják az élelmiszeriparban elsősorban gélesítő, illetve sűrítőszerekként. Számos – az élelmiszeriparban felhasznált poliszaccharidot, mint például az agart, alginátokat és a karragénokat makroalgákból nyerik ki pl. *Laminaria*, *Gracilaria*, *Macrocystis* fajokból [8]. Az egyik legigéretesebb mikroalgafaj az egysejtű vörös alga *Porphyridium cruentum*, galaktán exopoliszaccharidot termel, amely számos esetben helyettesítheti a karragént. A *Chlamydomonas mexicana*, is jelentős mennyiségben állít elő poliszaccharidot, amelyet az USA-ban talajjavító szerként alkalmaznak. A szulfatált alga poliszaccharidok farmakológiai tulajdonságokkal is rendelkeznek, kiemelkedő szerepet töltenek be az emberi immunrendszer stimulálásában [23].

4.4. Fotoszintetikus pigmentek

Általánosságban elmondható, hogy minden egyes algafaj rendelkezik a rá jellemző színt kialakító sajátos pigment-kombinációval. A klorofillokon, mint elsődleges fotoszintetikus pigmenteken kívül, a mikroalgák is termelnek különféle kiegészítő vagy másodlagos pigmenteket, például fikobilineket, illetve számos karotinoidot. Ezek a természetes pigmentek képesek javítani a fényenergia-hasznosítás hatékonyságát és védelmet nyújtanak az algák számára a napsugárzás káros hatásai ellen. Élelmiszerekhez, takarmányokhoz adagolva, mint természetes antioxidánsokat, színanyagokat, előszeretettel használják [24].

4.4.1. Karotinoidok

A karotinoidok természetesen előforduló pigmentek, amelyek szerepet játszanak a gyümölcsök, zöldségek és más növények színének kialakításában [25], általában sárgától a vörös színárnyalatig terjedő színű, likopinből származtatható izoprenoid polién pigmentek, amelyeket, *de novo* fotoszintetikus szervezetek és néhány más mikroorganizmus állít elő [8]. Az élelmiszerekkel, illetve a takarmányokkal felvett karotinoidok vagy felhalmozódnak, vagy a szervezet metabolizálja azokat. A karotinoidok megtalálhatók a különböző állatok húsaiban, a tojásban, halbőrben (pisztráng, lazac), a rákfélékben (garnéla, homár, Antarktisi krill, rák) és a bőr alatti zsírban, a bőrben, a tojássárgájában, a májban, és a madarak (pl. baromfi) tollaiban is [26].

A karotinoidok az algákban elsősorban fényvédő- és fénygyűjtő szerepet töltenek be, vagyis védik a fotoszintetikus apparátust a fénykárosodástól [24]. A fototropizmusban és a fototaxisban is szerepet játszanak. Egyes mikroalgák a különböző környezeti hatásokra válaszolva (pl. fény, hőmérséklet, sók, tápanyagok) karotinogenezisen mennek át. Ennek során az alga leállítja a növekedését, és drámaian megváltoztatja karotinoid anyagcseréjét, amely a másodlagos karotinoidok felhalmozódását eredményezi [27].

A természetben több mint 600 karotinoid fordul elő, amelyek közül mintegy 50 mutat A-provitamin aktivitást. Ide tartozik az α -karotin, a β -karotin és a β -kriptoxantin [28]. A β -karotin megvédi a membránok lipidjeit a peroxidációtól, így számos súlyos és halálos betegség kialakulása előzhető meg, illetve csökkenthető általa, mint például a rák, a szív- és érrendszeri betegségek, a Parkinson-kór és az érelmeszesedés [29, 30, 31].

Az élelmiszeriparban és a takarmányozásban viszonylag kevés karotinoidot használnak: β -karotint és asztaxantint, luteint, zeaxantint, likopint, stb. A mikroalgák között a fő karotinoid termelő fajok: a *Dunaliella salina*, amely β -karotint, illetve *Haematococcus pluvialis* pedig asztaxantint állít elő jelentősebb mennyiségben. A *Dunaliella salina* mikroalga olyan mennyiségben termel β -karotint, amely szárazanyag tartalmának körülbelül 10–14% -át teszi ki [32].

A β -karotin alapvető tápanyagként szolgál, elsősorban, mint élelmiszer-színezőanyag, illetve egészségvédő hatása miatt is egyre gyakrabban alkalmazzák különböző táplálék-kiegészítőkből, de a kozmetikumai ipar is előszeretettel alkalmazza [33].

Az élelmiszeriparban a β -karotint rendszeresen használják különböző üdítőkben, sajtokban, vajban vagy margarinokban kedvező élettani hatása miatt is hiszen pro-vitamin aktivitása van [34].

Az astaxantin számos előnyös tulajdonsággal rendelkezik, hozzájárul többek között a szem egészségének, az izomerő és az állóképesség javításához, a bőr védelméhez, csökkenti az idő előtti öregedést, a gyulladást és UV-A sugárzás okozta károsodást. Állatok takarmányozásában is fontos szerepet tölt be, hiszen elősegíti a növekedést és szaporodást, javítja a látást, immunstimuláló hatású és segíti a sérülések utáni regenerációt is [35, 36].

Számos kutatás azt igazolja, hogy az astaxantin napi bevitele megvédi a sejteket, szöveteket az oxidatív hatásoktól, valamint szabad gyökökkel szembeni hatása lényegesen, kb. 500-szor intenzívebb, mint az E-vitaminé. A *Haematococcus pluvialis* mikroalga száraz biomasszára átszámítva 4-5% asztaxantint termel [37], ezért szárított biomasszáját asztaxantinban gazdag forrásként forgalmazzák és mintegy 2500 US \$/kg áron értékesítik a piacon.

4.4.2. Klorofill

Minden alga egy- vagy többféle klorofillt tartalmaz. Elsődleges fotoszintetikus pigmentjük a klorofill-a, és a Cianobaktériumokban (kék-zöld alga) és vörösmoszatokban (Rhodophyta) ez az egyetlen klorofill is. Mint minden magasabb rendű növény, így a Chlorophyta-k (valódi zöld moszatok) és az Euglenofita-k (ostoros moszatok) klorofill-b-t is tartalmaznak; klorofill -c, -d és -e pedig számos más tengeri algában megtalálható. A klorofillok mennyisége általában eléri a szárazanyag tartalom 0,5-1,5% -át [38].

Mindamellett, hogy élelmiszer- és gyógyszeripari színezékként használják, a klorofill-származékoknak egészségvédő hatással is rendelkeznek. Hagyományosan használják őket sebgyógyító és gyulladáscsökkentő tulajdonságaik miatt [39]. A hollandiai Cohort Study epidemiológiai tanulmányai igazolták a klorofillfogyasztás és a vastagbélrák kockázatának csökkentése közötti szignifikáns összefüggést [40].

4.4.3. Fikobilinek

A klorofill és a karotinoid lipofil pigmentek mellett a Cianobaktériumok (kék-zöld algák), a Rhodophyta-k (vörös algák) és a Cryptophyta algák úgynevezett fikobilinokat tartalmaznak, amelyek színes, fluoreszkáló pigmentek. A klorofillokhoz hasonlóan fehérjékhez kapcsolódnak (fikobiliproteinek), amelyek a membránban elhelyezkedő klorofill-protein komplexekkel szemben szolubilis, vízdékony fehérjék, a fotokémiai rendszer fontos alkotó elemei. Jelentős mennyiségben tartalmaz fikobilinokat a *Spirulina* alga – elsősorban kék színű fikocianint, valamint a *Porphyridium*, amely jelentősebb mennyiségben vörös színű fikoeritrint termel.

A fikobilinek felhasználása meglehetősen széleskörű. Amellett, hogy a klinikai immunfluoreszcens vizsgálatok során széleskörben alkalmazzák fluoreszcens markerként fluoreszcensen jelölt antitestek kimutatására [38], a fikocianint jelenleg Japánban és Kínában is használják természetes színezékként, élelmiszerekben, így rágógumikban, cukorkákban, tejtermékekben, zselékben, fagyalutokban, üdítőitalokban. Emellett a kozmetikai ipar is szívesen alkalmazza, például rúzsokban, szemceruzákban és szemhéjfestékekben [41].

Egy tanulmány szerint a fikocianin az egyik legsokoldalúbb kék színezék, amely élénk kék színt biztosít a különböző zselés és bevont lágy cukorkáknak [42], mindemellett a fikocianinnak számos farmakológiai tulajdonságot is tulajdonítanak, ideértve az antioxidáns, gyulladáscsökkentő, neuroprotektív és hepatoprotektív hatásokat is [43, 44, 45].

4.5. Tokoferolok és szterolok

A tokoferolok széles körben elterjedtek a természetben, előfordulnak mind az alacsonyabb, mind a magasabb rendű növényekben, mint a fotoszintetikus rendszer részei.

Az ezirányú kutatások rávilágítottak arra, hogy a különböző mikroalga fajok közül az *Euglena* rendelkezik a legmagasabb tokoferol tartalommal [46].

A növények által termelt szterolokat fitoszterineknek nevezik. A mikroalgák nagyban hozzájárulhatnak a fitoszterolok előállításához, a nagyüzemi előállításukhoz hatékony és egyben ígéretes forrásoknak tekinthetők.

Egyes mikroalgák nagy mennyiségű szterint tartalmaznak. A mikroalga-szterinek egészségvédő hatásúak, koleszterinszint- és gyulladáscsökkentőek, egyes neurológiai betegségek, például a Parkinson-kór esetén hatékonyan alkalmazzák őket a gyógyításban [47, 48], emellett egyre növekszik élelmiszeripari felhasználása is étrend-kiegészítőként, illetve élelmiszerösszetevőként [49, 50]. Egyes mikroalgák, például a *Pavlova* és a *Thalassiosira* nemzetségbe tartozó fajok szterolokban gazdagok [51, 52].

4.6. Vitaminok, ásványi anyagok

A mikroalga-biomassza szinte minden alapvető vitamin értékes forrása, tartalmaz többek között B₁, B₂, B₃, B₅, B₆, B₁₂, C, E, H vitaminokat és emellett ásványi anyag tartalma (pl. Na, K, Ca, Mg, Fe, Zn és nyomelemek) is számottevő [53]. Egyes mikroalgák, mint például a *Spirulina* fajok B₁₂-vitamin és a vas tartalma különösen magas, ezért gyakran alkalmazzák őket vegetáriánusok számára készült élelmiszerekben és étrend-kiegészítőkből.

Az algák vitamintartalma függ a genotípustól, valamint a növekedési ciklus szakaszától, az algák táplálkozásáról, valamint a fényintenzitástól. A vitamin tartalmuk tehát növelhető a megfelelő faj kiválasztásával, a megfelelő tenyésztési feltételek beállításával, valamint/ esetleg genetikai módosítással is. A sejtek vitamintartalma azonban nem megfelelő környezeti feltételek, betakarítás, illetve biomassza szárítási módszerek alkalmazása esetén jelentősen csökkenhet [54].

4.7. Antioxidánsok

A mikroalgák fotoautotróf szervezetek, vagyis olyan organizmusok, amelyek a fénytől, mint energiaforrástól függenek, és segítségével szerves molekulákból szerves molekulákat állítanak elő. Ez a folyamat fotoszintézis néven ismert, és általában ezek a lények képviselik az élelmiszerlánc alapját. Ezek a szervezetek növekedésük során hatékony védelmi rendszert fejlesztettek ki az őket érő különböző abiotikus hatások, mint például a nagymennyiségű szabadgyökök, reaktív oxigén vegyületek ellen [23]. Egyes algafajok (pl. *Isochrysis galbana*, *Chlorella vulgaris*, *Nannochloropsis oculata*, *Tetraselmis tetrahele*, *Chaetoceros calcitrans*) magas antioxidáns tartalma miatt egyre növekszik felhasználásuk mennyisége egyes kozmetikumokban (pl. fényvédők), illetve a funkcionális élelmiszerekben.

Natrah és mtsai. [55] kutatásai azt igazolják, hogy egyes friss/kezelésmentes mikroalgák metanolos kivonata az α -tokoferolnál magasabb antioxidáns aktivitást mutat, ugyanakkor alacsonyabbat, mint a szintetikus antioxidáns BHT (Butil-hidroxi-toluol). Ez utóbbi és BHA (Butil-hidroxi-anizol) azonban szintetikus antioxidánsok, amelyek biztonságos felhasználása megkérdőjelezhető, mivel, nagy dózisu alkalmazásuk rákkeltő, daganatképző hatású lehet [56, 57].

4.8. Egyéb biológiai aktív komponensek

A mikroalgák kétséget kizáróan nagy tárházat jelentik a jelentős biológiai aktivitást mutató, egyedi és érdekes struktúrájú és funkciójú, sokrétűen felhasználható vegyületeknek [58].

Az elmúlt évtizedekben tengeri mikroorganizmusok, különösen a Cianobaktériumok kerületek a gyógyászati kutatások központjába, új gyógyszerek, és antibiotikumok kifejlesztése céljából. Az 1996-ig közzétett adatok mintegy 208 biológiai aktivitást mutató Cianobaktérium vegyületet fedeztek fel. Ez a szám 2001-re 424-re emelkedett. Az azonosított vegyületek között különböző lipoproteinek (40%), alkaloidok, amidok, stb. szerepelnek [59], amelyek közül számos citotoxikus, daganatellenes, antimikrobiális (antibakteriális, gombaellenes), vírusellenes (pl. HIV-ellenes) aktivitást, valamint biomodulációs hatást, mint pl. immunszuppresszív és gyulladáscsökkentő hatást mutat [59, 60].

Számos kutatás eredménye igazolja, hogy a mikroalgák tartalmazhatnak olyan vegyületeket is, amelyek hatékonyan alkalmazhatóak a rák és a daganatok kezelésére az angiogenezis gátlásával. Az angiogenezis olyan fiziológiai folyamat, amelynek során új erek alakulnak ki a már meglévő erekből. Bár az angiogenezis normális folyamat, bizonyos körülmények között, például rák, érelmeszesedés, ízületi gyulladás, diabéteszes retinopátia és ischaemiás stroke, kóros állapotok alakulhatnak ki. A kóros angiogenezis elősegíti a daganatok kialakulását, növekedését [61, 62]. Kimutatták, hogy a mikroalgák számos fajában található fukoxantin és a fucoxanthinol gátolják a patkányok aortagyűrűjében az angiogenezis folyamatát, mivel csökkentik a mikroerek kialakulását, növekedését [63]. Igazolták, hogy a fukoxantin védi a DNS -t a fotooxidációtól [64]. A mikroalgákat, különösen a kék-zöld algákat, jelenleg a rák kezelésében hasznosítható hatóanyagok lehetséges forrásainak tekintik, mivel számos tanulmány igazolta rákellenes hatásukat [65].

5. Néhány jelentősebb mikroalga faj

Annak ellenére, hogy számos őshonos mikroalga populációt már évszázadok óta használnak különböző célokra, nagyüzemi termesztésük csak az utóbbi néhány évtizedben indult meg [66]. A mintegy 30000 körüli feltételezett mikroalga-faj közül törzsgyűjteményben csak pár ezret tartanak, [67, 68] amelyből néhány

száz az, melyet kémiai összetételük miatt fontosabbnak tartanak és igen kevés azok száma, melyeket ipari mennyiségben is természetnek [69].

A biotechnológiailag leginkább releváns mikroalgák közé tartoznak a zöld algák (Chlorophyta) pl. *Chlorella vulgaris*, *Haematococcus pluvialis*, *Dunaliella salina* és a Cianobaktériumok közé tartozó *Spirulina maxima*. Ezek termesztése, forgalmazása és felhasználása főként étrend-kiegészítőként és állati takarmány-adalékanyagként igen jelentős.

5.1. *Spirulina* fajok

A *Spirulina* (Arthrospira) alga egy parányi, fonalszerű édesvízi, spirális formájú, kékeszöld algafaj, bőségesen fordul elő Mexikó és Afrika lúgos tavaiban és ősidők óta fogyasztja a helyi lakosság [59]. Jellemző tulajdonsága, hogy sejthártyája igen gyenge, és ez teszi könnyen hasznosíthatóvá. Fontos élettani sajátossága az is, hogy nedvesség hatására könnyen koloid oldattá válik, igen könnyen emészthető. A Spirulinát világszerte széles körben termesztik (3000 tonna/év), és használják élelmiszerek- és takarmányok-kiegészítőként, magas fehérjetartalma (60-70%-ban tartalmaz fehérjéket, 18 aminosavat, amelyből 8 esszenciális) és kiváló tápértéke miatt. γ -linolsav tartalma például kiemelkedően magas [70, 71]. Emészthetősége, felszívódása felülmúlja, mind az állati, mint a növényi fehérjéket. Tartalmazza a szervezet számára fontos vitaminokat (C, B₁, B₂, B₅, B₆, B₉, B₁₂, A, E), mikroelemeket, amelyek közül a vas-, jód-, kalcium-, nátrium-, kálium-, réz-, magnézium-, mangán-, cink-, foszfor-, szelén-, króm-, vanádiumtartalma a legmeghatározóbb. Különösen jó jód- és káliumforrás. Magas β -karotin, klorofill és γ -linolénsav tartalma által nagymértékben stimulálja az immunrendszert. Többszörösen telítetlen zsírsavtartalma lényegesen magasabb, mint a tengeri halaké. A *Spirulina* nagy mennyiségű GLA-t (Gamma-linolénsavat) tartalmaz, ennél nagyobb mennyiségben csak az anyatejben található. A *Spirulina* számos egészségvédő hatással rendelkezik: csökkenti a magas vérzsírszintet, koleszterinszintet, a magas vérnyomást, az emelkedett vércukorszintet, alkalmas a veseelégtelenség kezelésére, elősegíti a bélben a probiotikumok, mint pl. a *Lactobacillus* szint növekedését [19]. A természetes fikocianin fő forrása, amelyet természetes kék színezékként használnak élelmiszerekben és kozmetikai készítményekben, valamint biokémiai nyomjelzőként immunvizsgálatokban [70, 71, 72].

5.2. *Chlorella vulgaris*

Ez az algafaj az egyik legősibb, legegyszerűbb növény a Földön. Közel 4%-os klorofill-tartalom, az erős sejtfal, a magas pigment- és cellulóztartalom egyedülállóvá teszi a *Chlorella* méregtelenítő hatását. Megköti és eltávolítja a szervezetből a nehézfémeket, tisztítja a bélflórát. A májfunkciók javítása révén a nehézfémeken kívül az egyéb szennyeződések eltávolításában, méregtelenítésben is segíti a testet.

Élettani hatásai hasonlóak a Spirulináéhoz: magas a fehérjetartalma, valamennyi esszenciális aminosavat tartalmazza, ezenkívül különböző vitaminok, nyomelemek ásványi anyagok raktára. A *Chlorella vulgaris*-t ősidők óta használják a Távol-Keleten az alternatív gyógyászatban, valamint különböző hagyományos ételek készítéséhez. Széleskörben termesztik és használják – elsősorban állati takarmányozásban, akvakultúrában és étrendkiegészítőként – számos országban, így például Kínában, Japánban, Európában és az Egyesült Államokban. A *Chlorella* egészségvédő hatása megnyilvánul például a gyomorfekély és más sebek gyors gyógyulásában, hasznos a székrekedés, a vérszegénység, a magas vérnyomás, cukorbetegség és a csecsemő alultápláltság, valamint a neurózis kezelésében. *Chlorellában* található glikolipidek megelőző szerepét kutatások igazolták ateroszklerózis és a hiperkoleszterinémia kialakulása ellen [58]. A *Chlorella* egyik legfontosabb anyaga azonban a β -1,3-glükán, amely aktív immunstimulátor, megköti a szabad gyököket és csökkenti a vérzsírok mennyiségét [19].

A *Spirulina* és a *Chlorella* γ -linolénsav (GLA) tartalma nagyon magas. A GLA szerepe a szervezet működését tekintve rendkívül sokrétű. Egyrészt fontos az immunrendszer megfelelő működéséhez, másrészt gyulladáscsökkentő hatású, csökkenti a vérnyomást és javítja a vérkeringést. Megakadályozza a vérelemezkek összetapadását, ezáltal csökken a vérrögök kialakulásának veszélye. Pozitívan befolyásolja a koleszterinszintet, így csökkenti az érlemezsedés kockázatát. Javítja az idegrendszeri működést, kiüríti a felesleges folyadékot a szervezetből.

5.3. *Haematococcus pluvialis*

Az alig 0,1 mm nagyságú, édesvízi mikroalga korán felkeltette a kutatók érdeklődését. A *Haematococcus pluvialis* az a növény, amely - az eddigi kutatások alapján - a legmagasabb asztaxantin tartalommal rendelkezik (1,5-3,0% száraz tömeg). Ez a karotinoid pigment igen erős gyökfogó hatással rendelkezik, amely meghaladja a β -karotin, a C- és az E-vitamin antioxidáns tulajdonságait. Az alga asztaxantin termelése egy, a környezeti stresszhatások által kiváltott természetes reakció. Az asztaxantin védőfunkcióinak köszönhetően, mélyalvás állapotában az algák akár több mint 40 évig kibírják táplálék és víz nélkül, így a nyári hőséget vagy a téli, jeges hideget is könnyen átvészelik. Csak akkor ébrednek újra és nyerik vissza eredeti zöld, aktív állapotukat, amikor az életkörülmények ismét megfelelőek lesznek. Ezáltal az algák már a Földtörténet

korai időszakában is dacoltak a legviszontagságosabb természeti körülményekkel. Egyes algafajok azon tulajdonsága, hogy átvészelik a szárazságokat és a jégkorszakokat is, az asztaxantin-védőpajzsnak köszönhető. Asztaxantin bioaktív antioxidáns, amely mind állat, mind humán kísérletek során hatásosnak bizonyult Alzheimer-kór és Parkinson kór, valamint makula degeneráció ellen is. Néhány kozmetikai szerben a felhasznált asztaxantin segítségével lassíthatják a bőr öregedési folyamatait. Ezek mellett beszámoltak az asztaxantin immunerősítő, gyulladáscsökkentő hatásáról, valamint jótékony hatással van a szív- és érrendszeri betegségek, az érlelmeszesedés kialakulására.

A *Haematococcus pluvialis* jelenleg ennek a pigmentnek a természetes forrása, kereskedelmi célokra történő hasznosítása kiemelkedő, különösen az akvakultúrában (lazac- és pisztráng-tenyésztésében) [73]. Az asztaxantin másik természetes forrása, a *Xanthophyllomyces dendrorhous* élesztő azonban nagy mennyiségű, drága tápanyagot igényel a megfelelő pigmentációhoz [36].

5.4. *Dunaliella salina*

A *Dunaliella salina* halotoleráns mikroalga, természetes élőhelyei a sós tavak. Képes nagy mennyiségű β -karotint felhalmozni, emiatt főként természetes ételfestékként keresett ez az algafaj. Kutatások igazolták, hogy az Ausztrál Viktória állambeli Pink Lake-ben található *Dunaliella salina* közösség akár 14% karotinoidot is képes előállítani [74] és tenyésztett kultúrában egyes *Dunaliella* algák akár 10% -ot is tartalmazhatnak.

Magasabb β -karotin tartalom megfelelő tápanyag-ellátással, magas só- és fényviszonyok mellett érhető el [75, 76]. A *Dunaliella* a *Haematococcus* algához hasonlóan jelentős mennyiségben tartalmaz asztaxantint. A *Haematococcus* azonban édesvízi alga, nehéz szabadtéri kultúrában nevelni, mert igen könnyen befertőződik, megköveteli zárt rendszer alkalmazását, másrészt az asztaxantin kinyerés is bonyolultabb, mint a *Dunaliella* esetében, hiszen a *Haematococcus* vastag sejtfallal rendelkezik, amelyet fizikai úton kell feltárni.

6. Takarmányozási célú felhasználás

Napjainkban számos mikroalgafajt (pl. *Chlorella*, *Tetraselmis*, *Spirulina*, *Nannochloropsis*, *Nitzschia*, *Navicula*, *Chaetoceros*, *Scenedesmus*, *Haematococcus*, *Cryptocodinium*) használnak háziállatok, kedvtelésből tartott állatok, és halak takarmányozására.

Kismennyiségű mikroalga biomassa is immunstimuláló hatású, ami növekedésserkentést, betegség -rezisztenciát eredményez, vírusellenes és antibakteriális hatású, javítja a felszívódást, a probiotikus kultúrák pl. *Lactobacillus* kolonizációs stimulációját és ezáltal a reprodukciós teljesítmény és a súly növekedését eredményezi [77]. Az algákat tartalmazó takarmányok etetésével állatok külső megjelenése is szemmel láthatóan javul, amely egészséges bőrben és csillogó szőrzetben nyilvánul meg, mind a haszonállatok (baromfi, tehén, tenyészbika), mind pedig a házi kedvencek (macskák, kutyák, nyulak, díszhalak és madarak) esetében [78].

A takarmány az állatok egészségét befolyásoló legfontosabb exogén tényező, és az állattenyésztés jelentős költségeinek jelentős részét teszi ki, igen fontos a hagyományos fehérjeforrásokat helyettesítő, illetve kiegészítő, kiváló minőségű, vegyszer és toxikusanyag-mentes alternatív fehérjeforrások feltérképezése [26]. A nagyszámú táplálkozási és toxikológiai értékelés eredményei bizonyították az alga-biomassa értékes takarmánykiegészítőként való alkalmasságát [38]. Jelenleg a globálisan termelt algamennyiség mintegy 30%-át takarmányozási célokra értékesítik [53].

Becker és mtsai. [53] brojlercsirkékkel végeztek takarmányozási kísérleteket, amelyek során a hagyományos fehérjéket különböző mikroalgák fajaival, nevezetesen *Chlorella*, *Euglena*, *Oocystis*, *Scenedesmus*, *Spirulina*, helyettesítették – általában 10%-ban. A tojótyúkknál nem találtak különbséget a tojástermelésben és a tojásminőségben (méret, súly, héjvastagság, tojás szilárd tartalma, albumin index stb.), valamint a takarmány konverziós hatékonyságban, az alga tartalmú táppal és kontrollal etetett madarak között.

Azonban a *Haematococcus* mikroalga brojlercsirkék takarmányozásában természetes színezőként is használható, amelytől sárgább lett a madarak bőre és narancssárgább a tojássárgája [79]. Vizsgálatokat végeztek vörös mikroalgával (*Porphyridium* fajok) biomasszájával (5% illetve 10%) táplált csirkékkel. Annak ellenére, hogy nem tapasztaltak különbséget a csirkék testtömegében, súlyában és a tojásszámban, mégis a hús és tojásösszetétele csökkent koleszterinszintet (10%-kal) és, egészségesebb zsírsavösszetételt, megnövekedett linolsav és az arachidonsav szintet (29%-, illetve 24%-kal) mutatott. Ezenkívül a tojássárgája színe is sötétebb volt, amely az átlagosnál 2,4-szer magasabb karotinoid tartalomnak volt köszönhető [80]. Ugyanakkor megfigyelték, hogy az alga biomasszával táplált csirkék 10%-kal kevesebb tápot fogyasztottak mind az 5%, mind a 10% alga tartalmú tápok esetében és a szérumok koleszterinszintje is szignifikánsan alacsonyabb volt (11%-, illetve 28%-kal), mint a kontroll csoporté.

A mikroalga biomassa igen jó tápanyag-tartalmú takarmány, és kiválóan alkalmas sertések tenyésztésére. Helyettesíthetők velük a hagyományos fehérjék, mint például a szójaliszt vagy a halliszt, és elfogadásuk sem okoz nehézséget az állatoknak [38].

Feltételezések szerint a kérődzők számára az alga kiváló táplálékot jelenthet, mivel ezek az állatok még a feldolgozatlan algák sejtfalát is képesek megemészteni. Azonban ezekkel az állatfajokkal csak korlátozott számú kísérletet végeztek, hiszen ezek az eljárások drágák és a megfelelő etetési kísérletek elvégzéséhez nagy mennyiségű alga szükséges. Egyes kísérletek azonban azt mutatták ki, hogy bizonyos algafajok etetése esetén (pl. *Chlorella*, *Scenedesmus obliquus* és *Scenedesmus quadricauda*) a juhok, bárányok és szarvasmarhák képtelenek voltak a szénhidrát-frakció hatékony emésztésére [81, 82]. Jobb emészthetőséget értek el, amikor a *Spirulina* 20%-át tette ki a teljes juh takarmánynak, illetve azt figyelték meg, hogy *Scenedesmus* algát tartalmazó táppal etetett borjak esetén minimális különbség mutatkozott csak a kontroll táppal etetett állatokkal szemben [83].

A mikroalga-takarmányokat jelenleg főként halak-, halivadékok és egyéb vízi állatok (rákok stb.) tenyésztésére használt zooplankton kiegészítésére, helyettesítésére használják [84, 85]. Az akvakultúrában leggyakrabban használt fajok a *Chlorella*, *Tetraselmis*, *Isochrysis*, *Pavlova*, *Phaeodactylum*, *Chaetoceros*, *Nannochloropsis*, *Skeletonema* és *Thalassiosira* [86, 87].

A mikroalgák a vízi állatok számára alapvető tápanyagokat tartalmaznak, amelyek meghatározzák a tenyésztett állatok minőségét, a növekedést, egészségét és betegségekkel szembeni ellenálló képességüket. Kimutatták, hogy az állatok növekedése érdekében célszerű egyes mikroalga tenyészeteket használni, így biztosítani tudják a megfelelő fehérjeösszetételt, vitamin-tartalmat és magas többszörösen telítetlen zsírsavtartalmat (elsősorban EPA, AA és DHA), amelyek számos édesvízi és tengeri állat esetében létfontosságúak a túléléshez és a növekedéshez az élet korai szakaszában [88]. Az algák egyik jótékony hatása annak tulajdonítható, hogy növelik a tengeri halak ivadékainak táplálékfelvételét, ami fokozza növekedésüket és növeli túlélésüket, valamint javítja a halak húsának minőségét [89]. Ezenkívül azt is kimutatták, hogy az algák jelenléte az európai tengeri sügér lárváinak nevelő tartályaiban növekvő emésztőenzim szekréciót eredményezett [90]. Számos vízi faj, például lazacfélek (lazac és pisztráng), garnélarák, homár, tengeri gerince, az aranyhal és a koi ponty intenzív körülmények közötti tartása esetén a takarmányhoz karotinoid színanyagokat adnak, hogy elérjék jellegzetes izomszínüket. A karotinoidok, mint például az asztaxanthin és a kantaxanthin jótékony hatással vannak az állatok egészségére, növekedésére, szaporodására elősegítik a lárvák fejlődését [33].

7. Élelmezési célú felhasználás

Az 1950-es évek elején a mikroalgákat egyes ételek helyettesítésére használták és mint egyséjtféhrjéket gyakran alkalmazták az alultáplált gyermekek és felnőttek étrendjében. Manapság az emberi táplálkozásban a mikroalgákat különböző étrendkiegészítő tabletták, kapszulák és folyadékok formájában forgalmazzák [91].

Gross és mtsai. kutatást folytattak, amelynek során *Scenedesmus obliquus* algát adtak gyermekeknek (5 g/nap) és felnőtteknek (10 g/nap) normál étrendjébe az alkalmazott négyhetes tesztidőszak alatt. Vizsgálták a vérképet, a vizelet összetételét, a szérumfehérjét, húgysavkoncentrációt és súlyváltozást mértek, de az elemzett paraméterek nem mutattak eltérést a normál értékektől, kizárólag csak a testsúly enyhe növekedését figyelték meg.

Ugyanezek a szerzők ezt követően kissé (I. csoport) és komolyan (II. csoport) alultáplált négyéves gyermekekkel is három hetes vizsgálatot végeztek. Az I. csoport négyéves gyermekei (10 g alga/nap) szignifikáns súlynövekedést (27 g/nap) mutattak a kontrollcsoport gyermekeihez képest, akik normális étrendet kaptak, és semmiféle káros tünetet nem tapasztaltak. A II. csoportot 0,87 g alga/ttkg algával dúsított étrenddel táplálták, a teljes fehérje mindössze 8%-át helyettesítve alga fehérjével, és a napi súlynövekedés kb. hétszerese volt a kontroll csoport gyermekeihez képest, miközben minden antropogén paraméter normális volt. A szerzők arra a következtetésre jutottak, hogy az egészségi állapot jelentős javulása nemcsak az algafehérjének, hanem más fontos egészségvédő és immunerősítő tulajdonságú összetevőinek is tulajdonítható [92].

Az emberi táplálkozásra alkalmas mikroalgák nagyüzemi termelése ma már egyre nagyobb méreteket ölt világszerte. A mikroalgák vagy más egészségvédő hatású étrendkiegészítők számos formája létezik a piacon, így különböző tabletták, porok, kapszulák, pasztillák és folyadékok formájában található meg [23, 93]. A mikroalgákat felhasználják különböző élelmiszerek készítéséhez is, mint például készítenek algás tésztákat, kekszeket, kenyereket, snack ételeket, cukorkákat, joghurtokat, üdítőitalok, amelyek biztosítják a mikroalga biomasszához kapcsolódó egészségvédő és immunmoduláló hatásokat is [94].

Annak ellenére, hogy az elmúlt évtizedekben a fogyasztók között volt némi vonakodás az új élelmiszerekkel szemben, manapság egyre nagyobb a fogyasztói igény a természetes, egészségvédő hatású élelmiszerek iránt. Így a mikroalga-biomasszát tartalmazó funkcionális élelmiszerek is egyre népszerűbbek. Ezek a termékek érzékszervileg is igen kedvezőnek és változatosnak bizonyulnak, mindemellett fogyasztásuk egészségügyi előnyökkel is jár, a fogyasztói igényeket minden szempontból kielégítik [23].

8. Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozunk a finanszírozásért az NKTH, TKP2020-NKA 24 "Tématerületi Kiválóság Program"-nak.

9. Irodalom

- [1] Field, C.B., Behrenfeld, M.J., Randerson, J.T., Falkowski, P. (1998): *Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components*. Science, 281, pp. 237-240. <https://doi.org/10.1126/science.281.5374.237>
- [2] https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/2011_0001_519_42644_II/ch01s04.html
- [3] Brennan, L., Owende, P. (2010): Biofuels from microalgae- a review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. *Renew Sustain Energy Review*, 14, pp.557–77. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.009>
- [4] Khan, M. I., Shin, J. H., Kim, J. D. (2018): The promising future of microalgae: current status, challenges, and optimization of a sustainable and renewable industry for biofuels, feed, and other products. *Microbial Cell Factories*, 17, <https://doi.org/10.1186/s12934-018-0879-x>
- [5] de Medeiros, V.P.B., da Costa, W.K.A, da Silva, R.T., Pimentel, T.C., Magnani, M. (2021): Microalgae as source of functional ingredients in new-generation foods: challenges, technological effects, biological activity, and regulatory issues. *Critical Review in Food Science and Nutrition*, <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1879729>
- [6] Gouveia, L., Batista, A.P., Sousa, I., Raymundo, A., Bandarra, N. (2008): Microalgae in novel food products. In: Konstantinos N, Papadopoulos PP, editors. *food chemistry research development*. New York: Nova Science Publishers; pp. 75–112.
- [7] Guill-Guerrero, J.L., Navarro-Juárez, R., López-Martínez, J.C., Campra-Madrid, P., Reboloso-Fuentes, M.M. (2004): Functional properties of the biomass of the three microalgal species. *Journal of Food Engineering*, 65, pp. 511-517. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.02.014>
- [8] Borowitzka, M.A. (1988): Vitamins and fine chemicals from micro-algae. In M.A. Borowitzka, and L.J. Borowitzka (Eds), *Micro-algal biotechnology* pp. 153-196. Cambridge, UK: Cambridge University Press
- [9] Stephen, B., Hayes M., (2017): Algal Proteins.:Extraction, application, and challenges concerning production. *Foods*.6, pp.33. <https://doi.org/10.3390/foods6050033>
- [10] Smee, D.F., Bailey, K.W., Wong, M.H., Keefe, B.R.O., Gustafson, K.R., Mishin, V.P., Gubareva, V.L. (2008): Treatment of influenza A (H1N1) virus infections in mice and ferrets with cyanovirin-N. *Antiviral Research*. 80, pp. 266–71. <https://doi.org/10.1016/j.antiviral.2008.06.003>
- [11] Arya V, Gupta VK. (2001): A review on marine immunomodulators. *International Journal of Pharmacy and Life Sciences*. 2, pp. 751-758.
- [12] Zappe, H., Snell. M.E., Bossard. M.J. (2008): PEGylation of cyanovirin-N, an entry inhibitor of HIV. *Advances Drug Delivivory Review*. 60(1), pp. 79–87. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2007.05.016>
- [13] Hu, F.B., Bronner, L., Willett, W.C., Stampfer, M.J., Rexrode, K.M., Albert, C.M. (2002): Fish and omega-3 fatty acid intake and risk of coronary heart disease in women. *JAMA*. 287, pp. 1815–1821. <https://doi.org/10.1001/jama.287.14.1815>
- [14] Guedes, A.C.A. (2010): Production, extraction and characterization of selected metabolites from microalgae and cyanobacteria. Ph.D. Thesis Porto,: Escola Superior de Biotecnologia, Universidade Católica Portuguesa
- [15] Santhosh, S., Dhandapani, R., Hemalatha, R. (2016): Bioactive compounds from Microalgae and its different applications—a review. *Advances in Applied Science Research*. 7(4), pp. 153–158.
- [16] Bandarra, N.M., Pereira, P.A., Batista, I., and Vilela, M.H. (2003). Fatty acids, sterols and – tocopherol in *Isochrysis galbana*. *Journal of Food Lipids*, 18, 25-34. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4522.2003.tb00003.x>
- [17] Donato, M., Vilela, M.H., and Bandarra, N.M. (2003). Fatty acids, sterols, α -tocopherol and total carotenoids composition of *Diacronema vlkianum*. *Journal of Food Lipids*, 10, 267-276. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4522.2003.tb00020.x>
- [18] Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E., and Isambert, A. (2006). Commercial applications of Microalgae- review. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 101, 87-96. <https://doi.org/10.1263/jbb.101.87>
- [19] Hamilton M, Haslam R, Napier J, Sayanova O. Metabolic engineering of microalgae for enhanced production of omega-3 long chain polyunsaturated fatty acids. *Metab Eng*. 2014;22:3–9. <https://doi.org/10.1016/j.ymben.2013.12.003>

- [20] Draaisma RB, Wijffels RH, Slegers PM, Brentner LB, Roy A, Barbosa MJ. Food commodities from microalgae. *Curr Opin Biotechnol.* 2013;24:169–77. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2012.09.012>
- [21] Koller M, Muhr A, Braunegg G. Microalgae as versatile cellular factories for valued products. *Algal Res.* 2014;6:52–63. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2014.09.002>
- [22] Pulz, O., and Gross, W. (2004). Valuable products from biotechnology of microalgae. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 65, 635-648. <https://doi.org/10.1007/s00253-004-1647-x>
- [23] Van den Berg, H, Faulks, R., Granado, H.F., Hirschberg, J., Olmedilla, B., Sandmann, G., Southon, S., and Stahl, W. (2000). The potential for the improvement of carotenoid levels in foods and the likely systemic effects. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 880-912. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(20000515\)80:7<880::AID-JSFA646>3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(20000515)80:7<880::AID-JSFA646>3.0.CO;2-1)
- [24] Ben-Amotz, A., and Fishler, R. (1998). Analysis of carotenoids with emphasis on 9-*cis*- β -carotene in vegetables and fruits commonly consumed in Israel. *Food Chemistry*, 62, 515-520. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(97\)00196-9](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(97)00196-9)
- [25] Breithaupt, D.E. (2007). Modern application of xanthophylls in animal feeding - a review. *Trends in Food Science and Technology*, 18, 501-506. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2007.04.009>
- [26] Bhosale, P. (2004). Environmental and cultural stimulants in the production of carotenoids from microorganisms. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 63, 351-361. <https://doi.org/10.1007/s00253-003-1441-1>
- [27] Faure, H., Fayol, V., Galabert, C., Grolier, P., Moel, G.L., Steghens, J., Kappel, A.V., Nabet, F. (1999). Carotenoids: 1. Metabolism and physiology. *Annales de Biologie Clinique*, 57,169-183.
- [28] Raja, R., Hemaiswarya, S., and Rengasamy, R. (2007). Exploitation of *Dunaliella* for β -carotene production. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 74, 517-523. <https://doi.org/10.1007/s00253-006-0777-8>
- [29] Lobo V, Patil A, Phatak A, Chandra N. Free radicals, antioxidants and functional foods: impact on human health. *Pharmacogn Rev.* 2010;4(8):118–26. <https://doi.org/10.4103/0973-7847.70902>
- [30] Uttara B, Singh AV, Zamboni P, Mahajan R. Oxidative stress and neurodegenerative diseases: a review of upstream and downstream antioxidant therapeutic options. *Curr Neuropharmacol.* 2009;7(1):65–74. <https://doi.org/10.2174/157015909787602823>.
- [31] Pham-Huy LA, He H, Pham-Huy C. Free radicals, antioxidants in disease and health. *Int J Biomed Sci.* 2008;4(2):89–96.
- [32] Sathasivam R, Juntawong N. (2013):Modified medium for enhanced growth of *Dunaliella* strains. *Int J Curr Sci.*;5:67–73.
- [33] Baker, R., and Gunther, C. (2004). The role of carotenoids in consumer choice and the likely benefits from their inclusion into products for human consumption. *Trends in Food Science and Technology*, 15, 484-488. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2004.04.0094>
- [34] Tsuchiya, M., Scita, G., Freisleben, H.L., Kagan, V.E., and Packer, L. (1992). Antioxidant radical-scavenging activity of carotenoids and etinoids compared to β -tocopherol. *Methods of Enzymology*, 213, 460 – 472. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(92\)13148-Q](https://doi.org/10.1016/0076-6879(92)13148-Q)
- [35] Beckett, B.R., and Petkovich, M. (1999). Evolutionary conservation in retinoid signalling and metabolism. *American Zoology*, 39, 783-795. <https://doi.org/10.1093/icb/39.4.783>
- [36] Dufossé, L., Galaup, P., Yaron, A., Arad, S.M., Blanc, P., Murthy, K.N.C., and Ravishankar, G.A. (2005). Microorganisms and microalgae as sources of pigments for food use: ascientific oddity or an industrial reality?. *Trends in Food Science and Technology*, 16, 389-406. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.02.006>
- [37] Sathasivam R, Radhakrishnan R, Hashem A, Abd_Allah EF. Microalgae metabolites: a rich source for food and medicine. *Saudi J Biol Sci.* 2017. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.11.003>.
- [38] Becker, E.W. (1994). *Microalgae: biotechnology and microbiology*. Cambridge University Press.
- [39] Ferruzi, M.G., and Blakeslee, J. (2007). Digestion, absorption, and cancer preventive activity of dietary chlorophyll derivatives. *Nutrition Research*, 27, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2006.12.003>
- [40] Balder, HF, Vogel, J., Jansen, M.C., Weijenberg, M.P., van den Brandt, P.A., Westenbrink, S., van der Meer, R., and Goldbohm, R.A. (2006). Heme and chlorophyll intake and risk of colorectal cancer in the Netherlands cohort study. *Cancer Epidemiology Biomarkers and Prevention*, 15,717-725. <https://doi.org/10.1158/1055-9965.EPI-05-0772>

- [41] Sekar, S., and Chandramohan, M. (2007). Phycobiliproteins as a commodity: trends in applied research, patents and commercialization. *Journal of Applied Phycology*, <https://doi.org/10.1007/s10811-007-9188-1>
- [42] Jespersen, L., Strømdahl, L.D., Olsen, K., and Skibsted, L.H. (2005). Heat and light stability of three natural blue colorants for use in confectionery and beverages. *European Food Research and Technology*, *220*, 261–266. <https://doi.org/10.1007/s00217-004-1062-7>
- [43] Romay, C.H., Gonzalez, R., Ledon, N., Ramirez, D., and Rimbau, V. (2003). Phycocyanin: a biliprotein with antioxidant, anti-inflammatory and neuroprotective effects. *Current Protein and Peptide Science*, *4*, 207–216. <https://doi.org/10.2174/1389203033487216>
- [44] Benedetti, S., Benvenuti, F., Pagliarani, S., Francogli, S., Scoglio, S., and Canestrari, F. (2004). Antioxidant properties of a novel phycocyanin extract from the blue-green alga *Aphanizomenon flos-aquae*. *Life Sciences*, *55*, 2353–2362. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2004.06.004>
- [45] Bhat, V.B., and Madyastha, K.M. (2000). C-Phycocyanin: a potent peroxy radical scavenger in vivo and in vitro. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, *275*, 20–25. <https://doi.org/10.1006/bbrc.2000.3270>
- [46] Kusmic, C., Barsacchi, R., Barsanti, L., Gualteri, P., and Passarelli, V. (1999). *Euglena gracilis* as a source of the antioxidant vitamin E. Effects of culture conditions in the wildstrain and in the natural mutant WZSL. *Journal of Applied Phycology*, *10*, 555–559. <https://doi.org/10.1023/A:1008022305865>
- [47] Devaraj S, Jialal I. Vega-Lopez. Plant sterol-fortified orange juice effectively lowers cholesterol levels in mildly hypercholesterolemic healthy individuals. *Arterioscler Thromb Vasc Biol*. 2004;24:25–8.
- [48] Kim HJ, Fan X, Gabbi C, Yakimchuk K, Parini P, Warner M. Liver X receptor β (LXR β): a link between β -sitosterol and amyotrophic lateral sclerosis—Parkinson’s dementia Proc. Natl Acad Sci USA. 2008;105(6):2094–9.
- [49] Fernandes P, Cabral JM. Phytosterols: applications and recovery methods. *Bioresour Technol*. 2007;98(12):2335–50.
- [50] Srigley CT, Haile EA. Quantification of plant sterols/stanols in foods and dietary supplements containing added phytosterols. *J Food Compos Anal*. 2015;40:163–76. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2015.01.008>.
- [51] Luo X, Su P, Zhang W. Advances in microalgae-derived phytosterols for functional food and pharmaceutical applications. *Mar Drugs*. 2015;13(7):4231–54. <https://doi.org/10.3390/md13074231>
- [52] Volkman JK. A review of sterol markers for marine and terrigenous organic matter. *Org Geochem*. 1996;9:83–99. <https://doi.org/10.1161/01.ATV.0000120784.08823.99>
- [53] Becker, E.W. (2004). Microalgae in human and animal nutrition. In A. Richmond (Ed), *Handbook of microalgal culture* (pp. 312–351). Oxford: Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9780470995280.ch18>
- [54] Brown, M.R., Mular, M., Miller, I., Farmer, C., and Trenerry, C. (1999). The vitamin content of microalgae used in aquaculture. *Journal of Applied Phycology*, *11*, 247–255. <https://doi.org/10.1023/A:1008075903578>
- [55] Natrah, F., Yosoff, F.M. Shariff, M., Abas, F., and Mariana, N.S. Screening of Malaysian indigenous microalgae for antioxidant properties and nutritional value. *Journal of Applied Phycology* *19*, 711–718. <https://doi.org/10.1007/s10811-007-9192-5>
- [56] Schilderman, P.A.E.L., ten Vaarwerk, F.J., Lutgerink, J.T., Van der Wurff, A., ten Hoor, F., and Kleinjans, J.C.S. (1995). Induction of oxidative DNA damage and early lesions in rat gastro-intestinal epithelium in relation to prostaglandin H synthase-mediated metabolism of butylated hydroxyanisole. *Food and Chemical Toxicology*, *33*, 99–109. [https://doi.org/10.1016/0278-6915\(94\)00125-8](https://doi.org/10.1016/0278-6915(94)00125-8)
- [57] Aruoma, O.I. (2003). Methodological considerations for characterizing potential antioxidant actions of bioactive components in plant foods. *Mutation Research*, *523*, 9–20. [https://doi.org/10.1016/S0027-5107\(02\)00317-2](https://doi.org/10.1016/S0027-5107(02)00317-2)
- [58] Yamaguchi, K. (1997). Recent advances in microalgal bioscience in Japan, with special reference to utilization of biomass and metabolites: a review. *Journal of Applied Phycology*, *8*, 487–502. <https://doi.org/10.1007/BF02186327>
- [59] Burja, A.M., Banaigs, B., Abou-Mansour, E., Burgess, J.G., Wright, P.C. (2001). Marine cyanobacteria - a prolific source of natural products. *Tetrahedron*, *57*, 9347–9377. [https://doi.org/10.1016/S0040-4020\(01\)00931-0](https://doi.org/10.1016/S0040-4020(01)00931-0)

- [60] Singh, S., Kate, B.N., and Banerjee, U.C. (2005). Bioactive compounds from Cyanobacteria and Microalgae: an overview. *Critical Reviews in Biotechnology*, 25, 73-95. <https://doi.org/10.1080/07388550500248498>
- [61] Armstrong AW, Voyles SV, Armstrong EJ, Fuller EN, Rutledge JC. Angiogenesis and oxidative stress: common mechanisms linking psoriasis with atherosclerosis. *J Dermatol Sci*. 2011;63:1-9. <https://doi.org/10.1016/j.jdermsci.2011.04.007>
- [62] Cherrington JM, Strawn LM, Shawver LK. New paradigms for the treatment of cancer: the role of anti-angiogenesis agents. *Adv Cancer Res*. 2000;79:1-38. [https://doi.org/10.1016/S0065-230X\(00\)79001-4](https://doi.org/10.1016/S0065-230X(00)79001-4)
- [63] T, Matsubara K, Akagi R, Mori M, Hirata T. Antiangiogenic activity of brown algae fucoxanthin and its deacetylated product, fucoxanthinol. *Agric Food Chem*. 2006;54:9805-10. <https://doi.org/10.1021/jf062204q>
- [64] Heo SJ, Jeon YJ. Protective effect of fucoxanthin isolated from *Sargassum siliquastrum* on UV-B induced cell damage. *J Photochem Photobiol B*. 2009;95:101-7. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2008.11.011>
- [65] Russo P, Cesario A. New anticancer drugs from marine cyanobacteria. *Curr Drug Targets*. 2012;13(8):1048-53. <https://doi.org/10.2174/138945012802009035>
- [66] Borowitzka, M.A. (1999). Commercial production of microalgae: ponds, tanks, tubes and fermenters. *Journal of Biotechnology*, 70, 313-321. [https://doi.org/10.1016/S0168-1656\(99\)00083-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1656(99)00083-8)
- [67] Chaumont, D. (1993). Biotechnology of algal biomass production: a review of systems for outdoor mass culture. *Journal of Applied Phycology*, 5, 593-604. <https://doi.org/10.1007/BF02184638>
- [68] Radmer, R.J., and Parker, B.C. (1994). Commercial applications of algae: opportunities and constraints. *Journal of Applied Phycology*, 6, 93-98. <https://doi.org/10.1007/BF02186062>
- [69] Olaizola, M. (2003). Commercial development of microalgal biotechnology: from the test tube to the marketplace. *Biomolecular Engineering*, 20, 459-466. [https://doi.org/10.1016/S1389-0344\(03\)00076-5](https://doi.org/10.1016/S1389-0344(03)00076-5)
- [70] Ötles, S., and Pire, R. (2001). Fatty acid composition of *Chlorella* and *Spirulina* microalgae species. *Journal of AOAC International*, 84, 1708-1714. <https://doi.org/10.1093/jaoac/84.6.1708>
- [71] Shimamatsu, H. (2004). Mass production of *Spirulina*, an edible microalga. *Hydrobiologia*, 512, 39-44. <https://doi.org/10.1023/B:HYDR.0000020364.23796.04>
- [72] Kato, T. (1994). Blue pigment from *Spirulina*. *New Food Industry*, 29, 17-2.
- [73] Lorenz, R.T., and Cysewski, G.R. (2000). Commercial potential for *Haematococcus* microalgae as a natural source of astaxanthin. *Trends in Biotechnology*, 18, 160-167. [https://doi.org/10.1016/S0167-7799\(00\)01433-5](https://doi.org/10.1016/S0167-7799(00)01433-5)
- [74] Aasen, A.J., Eimhjellen, K.E., and Liaaen-Jensen, S. (1969). An extreme source of β -carotene. *Acta Chemica Scandinavica*, 23, 2544-2545. <https://doi.org/10.3891/acta.chem.scand.23-2544>
- [75] Ben-Amotz, A., and Avron, M. (1980). Glycerol, β -carotene and dry algal meal production by commercial cultivation of *Dunaliella*. In G. Shelef, and C.J. Soeder (Eds), *Algae Biomass* (pp. 603-610). Amsterdam: Elsevier/North Holland Biomedical Press.
- [76] Oren, A. (2005). A hundred years of *Dunaliella* research: 1905-2005. *Saline Systems*, 1, 2. <https://doi.org/10.1186/1746-1448-1-2>
- [77] Harel, M., and Clayton, D. (2004). *Feed formulation for terrestrial and aquatic animals*. US Patent 20070082008 (WO/2004/080196)
- [78] Certik, M., and Shimizu, S. (1999). Biosynthesis and regulation of microbial polyunsaturated fatty acid production. *Journal of Biosciences and Bioengineering*, 87, 1-14. [https://doi.org/10.1016/S1389-1723\(99\)80001-2](https://doi.org/10.1016/S1389-1723(99)80001-2)
- [79] Waldenstedt, L., Inbarr, J., Hansson, I., and Elwinger, K. (2003). Effects of astaxanthin-rich algal meal (*Haematococcus pluvialis*) on growth performance, caecal campylobacter and clostridial counts and tissue astaxanthin concentration of broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*, 18, 119-132. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(03\)00164-0](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(03)00164-0)
- [80] Ginzberg, A., Cohen, M., Sod-Moriah, U., Shany, S., Rosenshtrauch, A., and Arad, S. (2000). Chickens fed with biomass of the red microalga *Porphyridium* sp. have reduced blood cholesterol level and modified fatty acid composition in egg yolk. *Journal of Applied Phycology*, 12, 325-330. <https://doi.org/10.1023/A:1008102622276>

- [81] Hintz, H.F., Heitmann, H., Weir, W.C., Torell, D.T., and Meyer, J.H. (1966). Nutritive value of algae grown on sewage. *Journal of Animal Science*, 25, 675-681. <https://doi.org/10.2527/jas1966.253675x>
- [82] Davis, I.F., Sharkey, M.J., and Williams, D. (1975). Utilization of sewage algae in association with paper in diets of sheep. *Agriculture and Environment*, 2, 333-338. [https://doi.org/10.1016/0304-1131\(75\)90039-9](https://doi.org/10.1016/0304-1131(75)90039-9)
- [83] Calderon, C.J.F., Merino, Z.H., and Barragán, M.D. (1976). Valor alimenticio del alga espirulina (*Spirulina geitleri*) para ruminants. *Tecnica Pecuaria en Mexico*, 31, 42-46.
- [84] Benemann, J.R. (1992). Microalgae aquaculture feeds. *Journal of Applied Phycology*, 4, 233-245. <https://doi.org/10.1007/BF02161209>
- [85] Chen, Y.-C. (2003). Immobilized *Isochrysis galbana* (Haptophyta) for long-term storage and applications for feed and water quality control in clam (*Meretrix lusoria*) cultures. *Journal of Applied Phycology*, 15, 439-444. <https://doi.org/10.1023/A:1025134106985>
- [86] Apt, K.E., and Behrens, P.W. (1999). Commercial developments in microalgal biotechnology. *Journal of Phycology*, 35, 215-226. <https://doi.org/10.1046/j.1529-8817.1999.3520215.x>
- [87] Muller-Feuga, A. (2000). The role of microalgae in aquaculture: situation and trends. *Journal of Applied Phycology*, 12, 527-534. <https://doi.org/10.1023/A:1008106304417>
- [88] Volkman, J.K., Jeffery, S.W., Nichols, P.D., Rogers, G.I., and Garland, C.D. (1989). Fatty acid and lipid composition of 10 species of microalgae used in mariculture. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 128, 219-240. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(89\)90029-4](https://doi.org/10.1016/0022-0981(89)90029-4)
- [89] Naas, K.E., Naess, T., and Harboe, T. (1992). Enhanced 1st feeding of Halibut Larvae (*Hippoglossus hippoglossus* L) in green water. *Aquaculture*, 105, 143-156. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(92\)90126-6](https://doi.org/10.1016/0044-8486(92)90126-6)
- [90] Cahu, C.L., and Zambonino-Infante, J.L. (1998). Algal addition in sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larvae rearing: effect on digestive enzymes. *Aquaculture*, 161, 479-489. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(97\)00295-0](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00295-0)
- [91] Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E., and Isambert, A. (2006). Commercial applications of Microalgae- review. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 101, 87-96. <https://doi.org/10.1263/jbb.101.87>
- [92] Gross, R., Gross, U., Ramirez, A., Cuadra, K., Collazos, C., and Feldheim, W. (1978). Nutritional tests with green *Scenedesmus* with health and malnourished children. *Archiv fur Hydrobiologie, Beihefte Ergebnisse der Limnologie*, 11, 161-173.
- [93] Hallmann, A. (2007). Algal transgenics and biotechnology. *Transgenic Plant Journal*, 1, 81-98.
- [94] Belay, A. (1993). Current knowledge on potential health benefits of *Spirulina platensis*. *Journal of Applied Phycology*, 5, 235-240. <https://doi.org/10.1007/BF00004024>

Erika KOPPÁNYNÉ SZABÓ¹, Krisztina TAKÁCS¹

DOI: <https://doi.org/10.52091/EVIK-2021/4-1-ENG>

Received: September 2021 – Accepted: November 2021

Exploiting the beneficial properties of microalgae for food and feed use

Keywords: microalgae, protein, composition, feeding, food use, climate change, carbon footprint

1. SUMMARY

By 2050, 9.8 billion people are projected to live on Earth, which means that we need to double our current food production to keep pace with such a large population increase. In addition, rising greenhouse gas emissions and the associated climate change are placing a significant strain on the planet's ability to sustain itself. However, in order to increase the quantity of proteins of plant origin, it is necessary to increase crop production areas, harvesting frequencies and the quantity of crops produced. Unfortunately, the optimization of these factors is already very close to the available maximum in the current situation. The developed cultivation systems and maximum utilization of the soil power leads to very serious environmental problems, soil destruction, loss of biodiversity and serious environmental pollution through the transport of the produced plant raw materials.

This poses a serious challenge to food security and further increases the risk of hunger. There is therefore a need for agricultural practices that can lead to the cultivation of food and feed crops that have better sustainability indicators and are more resilient to climate change, which can be used to safely produce health-promoting feeds, as well as novel and value-added foods. Within this group, a particular problem is presented by the protein supply of the population, as currently about one billion people do not have adequate protein intake. However, conventional protein sources are not sufficient to meet growing protein needs.

As mentioned above, food and feed proteins are based on plant proteins. In recent years, a prominent role has been played by the research into alternative proteins and the mapping of their positive and negative properties. Among alternative proteins, special attention has been paid to various yeasts, fungi, bacteria, algae, single cell proteins (SCPs) and insects. In this paper, we focus on the presentation of algae, particularly microalgae, which are of paramount importance not only because of their significant protein content and favorable amino acid composition, but also because they are also sources of many valuable molecules, such as polyunsaturated fatty acids, pigments, antioxidants, drugs and other biologically active compounds. It is important to learn about microalgae biomass in order to be able to develop innovative health food products.

¹ Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Buda Campus, Institute of Food Science and Technology, Food Science Research Group

Erika KOPPÁNYNÉ SZABÓ
Krisztina TAKÁCS

koppanyne.szabo.erika@uni-mate.hu
takacs.krisztina@uni-mate.hu

<https://orcid.org/0000-0001-8321-7157>
<https://orcid.org/0000-0002-7230-6346>

2. Introduction

By 2050, the population of Earth will grow to nearly 10 billion, an increase of about 25% compared to today's population. In addition, the significant depletion of our Earth's water resources also makes it necessary to restructure our diet, as the amount of water needed to produce 1 kg of food is 13,000 liters for cattle, 5,520 liters for chicken, while only 50 liters for peas or lentils. All this means that we can expect a significant increase in the price of foods of animal origin, which will mean that we will have to reduce the proportion of them in our diet significantly.

The different plant protein sources make a positive contribution to the protection of the environment and the fight against climate change due to their more efficient use of water. On the other hand, legumes require 30 to 70% less synthetic fertilizers due to their nitrogen-binding properties, they increase soil power and have a positive effect on soil biology. It is also a known fact that due to nutrient transformation losses, the production of 1 kg of animal protein requires at least 6 to 16 times more cultivable area. In addition, the carbon dioxide footprint of the production of foods, especially of those based on beef, is about 10 times more than that of plant-based foods.

The structure of food consumption in Europe is characterized by a 59% proportion of the daily protein intake coming from protein sources of animal origin (meat, fish, milk), with proteins of plant origin representing only 41% of the total. More than 50% of the latter is wheat protein. As a result, a few cereals (wheat, corn, rice) could become staple foods, leading to geographical homogeneity of foods, dietary monotony and nutritional imbalances, increasing the risk of micronutrient deficiencies, overweightness and chronic obesity, as well as NCDs (Non Communicable Diseases), including cardiovascular diseases, stroke, cancer and diabetes.

Based on all this, it is becoming increasingly important to identify and investigate alternative plant and other protein sources, in addition to the protein sources mentioned above, which can contribute to meeting the protein needs of an increasing human population, as well as to addressing the unbalanced nutritional status of them.

An important group of protein crops are legumes (e.g., dried beans, runner beans, chickpeas, horse beans, lentils, grass peas, black-eyed peas, dried peas, autumn and spring peas) with a high protein content of 20 to 40% on average. Dry leguminous seeds are rich in protein and lysine, but low in sulfur-containing amino acids. At the same time, field crops with good nutritional values but low protein content (e.g., sunflower, canola, corn, sorghum, rice, wheat) are low in lysine and rich in sulfur-containing amino acids. Taking into account the positive nutritional values of the two plant groups, products containing complete plant protein can be developed by their combined use.

Table 1. Protein content of various crops [1]

Protein plant	Protein content of the seed
Wheat	8-15%
Rice	7-9%
Corn	9-12%
Barley	8-15%
Sorghum	9-17%
Soy	35-40%
Pea	20-30%
Chickpea	20-25%
Canola	17-26%
Lupine	35-40%

The protein content of various crops (**Table 1**) may show significant variability not only between species but also within a given species. In addition, protein content can also be altered by environmental factors and the food processing technology.

Other alternative protein sources include single cell proteins (SCPs) produced by fermentation technologies, seaweeds living in saltwater, duckweed species living in freshwater and various insect species. Protein content values of the different sources can vary widely depending on the species, the cultivation technology and the nutrient supply (**Table 2**).

Table 2. Protein content of various alternative protein sources [1]

Protein sources		Protein content
SCP	Microalgae	40-60%
	Yeasts	45-65%
	Filamentous fungi	35-50%
	Bacteria	40-60%
Seaweed		5-47%
Duckweed		20-35%
Insects		20-76%

3. Characterization and occurrence of microalgae

Algae, also called seaweeds, are eukaryotes capable of photosynthesis. Algae represent one of the oldest life forms on Earth, having existed on our planet for about 3 billion years. They produce one-third of Earth's living matter and about 50% of its organic carbon [1]. These plants have survived all geological epochs and climate changes. Algae still account for 90% of Earth's oxygen production. These organisms have allowed life to form on Earth, and they use the power of sunlight to produce organic food from inorganic materials through photosynthesis. In many respects, algae are the most diverse living things in the world. They have the simplest structure and are closely related to bacteria. The most complex ones, *Charophyceae* species, resemble kelp to the point of confusion. The smallest algae are picoalgae with a size of 0.5 µm, while the largest are 50 to 100 m long *Macrocystis* species (*Phaeophyceae*). They occur under the most extreme conditions in fresh and salt water, hot springs, on snow and ice surfaces, in the soil and in the upper layer of some rocks [2]. Algae are mostly eukaryotes, typically classified as „lower” plants that have no true stems, roots and leaves, and are generally capable of photosynthesis. Algae are widely classified into *Rhodophyta* (red algae), *Phaeophyta* (brown algae) and *Chlorophyta* (green algae) and are classified as macroalgae and microalgae by size. Macroalgae (seaweeds) are multicellular, large size algae that are visible to the naked eye, while microalgae are microscopic single-celled organisms and may be prokaryotes, similar to cyanobacteria (*Chloroxybacterium*), or eukaryotes, similar to green algae (*Chlorophyta*).

Microalgae, as excellent sources of various organic carbon compounds, can be used in the manufacture of health supplements, drugs and cosmetics [2]. they can also be used in wastewater treatment, atmospheric CO₂ reduction and the production of biofuels. A wide range of bio-products can be extracted from microalgae, such as polysaccharides, lipids, pigments, proteins, vitamins, bioactive compounds and antioxidants [3]. In addition to all this, they are playing an increasingly important role in the feed and food industries (**Figure 1**).

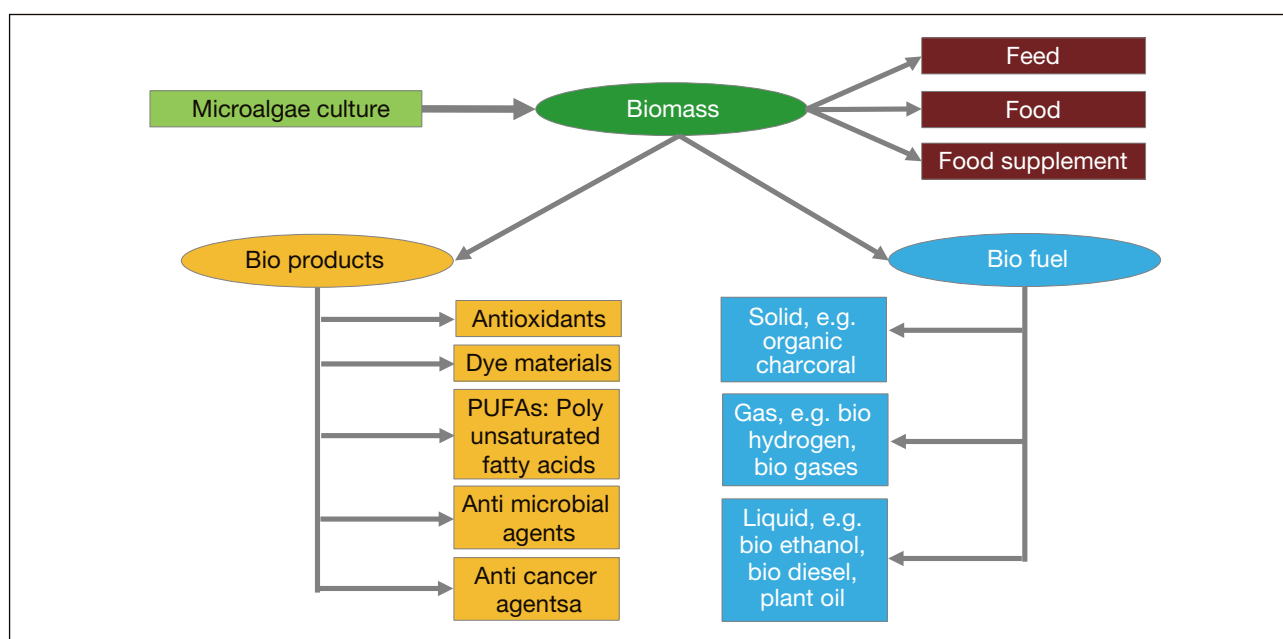


Figure 1. Applications of microalgae [3]

4. General composition of microalgae

As with all other higher plants, the chemical composition of algae varies depending on the type of cultivation, such as environmental parameters, temperature, illumination, pH and mineral content of the medium, CO₂ supply and mixing speed: 9-77% protein, 6-54% carbohydrate, 4-74% lipid (**Table 3**)

Table 3. Comparison of the protein, carbohydrate and fat content of some food ingredients and microalgae

Food ingredient	Protein (%)	Carbohydrate (%)	Fat (%)
Baker's yeast	39	38	1
Meat	43	1	34
Egg	47	4	41
Milk	26	38	28
Rice	8	77	2
Soy	37	30	20
Microalgae			
<i>Anabaena cylindrical</i>	43-56	25-30	4-7
<i>Chaetoceros Calcitrans</i>	36	27	15
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	48	17	21
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	57	26	2
<i>Chlorella vulgaris</i>	51-58	12-17	14-22
<i>Diacronema vlkianum</i>	57	32	6
<i>Dunaliella salina</i>	39-61	14-18	14-20
<i>Euglena gracilis</i>	10	40	41
<i>Haematococcus pluvialis</i>	48	27	15
<i>Isochrysis galbana</i>	50-56	10-17	12-14
<i>Porphyridium cruentum</i>	8-18	21-52	16-40
<i>Scenedesmus obliquus</i>	6-20	33-64	11-21
<i>Scenedesmus dimorphus</i>	60-71	13-16	6-7
<i>Spirulina maxima</i>	46-63	8-14	4-9
<i>Spirulina platensis</i>	52	15	3

4.1. Protein and amino acid content of microalgae

Based on research results it can be stated that algae are a source of protein with an amino acid composition similar to that of plant proteins. Examination of the net protein utilization, i.e., of the proper amino acid composition, digestibility and biological value, also led to a similar result.

Several microalgae species produce large amounts of various essential amino acids and proteins that can be used in foods and feeds, one of the main reasons they occupy a prominent place among alternative proteins. Certain species of microalgae can produce as much protein as other rich protein sources, e.g., eggs, meat and milk [6].

In addition, the amino acid pattern of almost all algal species is very similar to the protein pattern of many foods. Of the amino acids, they are only low in cysteine and lysine. Since cells are able to synthesize almost all amino acids, they can be used to provide the essential amino acid needs of both humans and animals [7]. The composition of amino acids synthesized by microalgae, especially the amount and composition of free amino acids, varies greatly, depending on the species, growth conditions and the growth phase [8].

In addition, microalgae proteins are easily digestible and have a relatively high nutritional value. Microalgae produce 2.5 to 7.5 tons/ha/year protein [9], for example, the green microalgae *Chlorella* is a rich source of different types of marketed proteins. Another protein-rich microalga is *Arthrospira*. Proteins from microalgae lower cholesterol levels by activating cholecystokinin. They also have other important enzymatic effect [10]. For example, the microalga called *Lyngbya majuscula* produces microcholine-A, a protein with immunosuppressive effects [11]. The microalga *Nostoc* produces a protein called cyanovirin, which is known to have an antiviral activity against both HIV and the influenza virus [12]. At the same time, *Anabaena* and *Porphyridium* species produce the enzyme SOD (superoxide dismutase), which protects against oxidative

damage, while *Isochrysis galbana* produces the enzyme carbonic anhydrase, which plays a key role in the conversion of CO₂ to carbonic acid and bicarbonate. *Microcystis aeruginosa* produces a number of amino acids, including proline, serine, glycine and valine.

4.2. Fatty acids

Polyunsaturated fatty acids play an important role in tissue protection and have a beneficial effect on health. Omega-3 and omega-6 fatty acids are especially important for humans, but the human body is unable to produce these fatty acids. Therefore, intake from an external source, such as various foods, is essential. Docosahexaenoic acid (DHA), linoleic acid, eicosapentaenoic acid (EPA), arachidonic acid and gamma-linolenic acid have been shown to lower cholesterol levels, delay aging, protect membrane integrity and prevent cardiovascular diseases [13,14]. Several species of microalgae capable of synthesizing these valuable fatty acids have been studied. These studies have shown that *Pavlova lutheri* produces large amounts of polyunsaturated fatty acids [15], *Arthrospira platensis* mainly produces and accumulates stigmaterol, sitosterol and γ -linolenic acid [16], while *Porphyridium* produces arachidonic acid, *Nannochloropsis*, *Phaeodactylum*, *Nitzschia*, *Isochrysis* and *Diacronema* species produce eicosapentaenoic acid and *Cryptocodinium* and *Schizochytrium* microalgae produce docosahexaenoic acid in significant amounts [17, 18, 19].

The polyunsaturated EPA and DHA are also pharmaceutically very important omega-3 fatty acids. They play a key role in the treatment of inflammatory diseases, heart problems, arthritis, asthma and headaches, among other things [20, 21, 22].

4.3. Polysaccharides

Polysaccharides are widely used in the food industry, primarily as gelling and thickening agents. Many polysaccharides used in the food industry, such as agar, alginates and carrageenans are extracted from macroalgae, e.g., *Laminaria*, *Gracilaria* and *Macrocystis* species [8]. One of the most promising microalgal species, the unicellular red alga *Porphyridium cruentum* produces a galactan exopolysaccharide, that can replace carrageenan in many cases. *Chlamydomonas mexicana* also produces significant amounts of polysaccharides, and it is used in the United States as a soil improver. Sulfated algal polysaccharides also have pharmacological properties and they play a prominent role in stimulating the human immune system [23].

4.4. Photosynthetic pigments

It can be said in general that each species of algae has a specific pigment combination that creates its characteristic colour. In addition to chlorophylls, the primary photosynthetic pigments, supplementary or secondary pigments, such as phycobilins and a number of carotenoids are also produced by microalgae. These natural pigments have the ability to improve the efficiency of light energy utilization and provide protection for algae from the harmful effects of solar radiation. They are used preferentially when added to foods and feeds as natural antioxidants and colourants [24].

4.4.1. Carotenoids

Carotenoids are naturally occurring pigments that play a role in the formation of the colour of fruits, vegetables and other plants [25]. They are typically isoprenoid polyene pigments derived from lycopene, ranging in colour from yellow to red, and are produced by *de novo* photosynthetic organisms and some other microorganisms [8]. Carotenoids ingested with foods or feeds are either accumulated or metabolized by the body. Carotenoids can be found in the meat of various animals, eggs, fish skin (trout, salmon), crustaceans (shrimp, lobster, Antarctic krill, crab) and subcutaneous fat, skin, egg yolk, liver and the feather of birds (e.g., poultry) [26].

In algae, carotenoids primarily play the role of sunscreen and light collector, i.e., they protect the photosynthetic apparatus from light damage [24]. They also play a role in phototropism and phototaxis. Some microalgae undergo carotenogenesis in response to various environmental effects (e.g., light, temperature, salts, nutrients). During this, algae stop their growth dramatically alter their carotenoid metabolism, resulting in the accumulation of secondary carotenoids [27].

There are more than 600 carotenoids in nature, about 50 of which show provitamin A activity. These include α -carotene, β -carotene and β -cryptoxanthin [28]. A β -Carotene protects membrane lipids from peroxidation, thus preventing and reducing the development of many serious and fatal diseases, such as cancer, cardiovascular disease, Parkinson's disease and atherosclerosis [29, 30, 31].

Relatively few carotenoids are used in the food and feed industries: β -carotene and astaxanthin, lutein, zeaxanthin, lycopene, etc. Among microalgae, the main carotenoid-producing species are *Dunaliella salina* and *Haematococcus pluvialis* which produce significant amounts of β -carotene and astaxanthin, respectively. The microalga *Dunaliella salina* produces β -carotene in an amount that accounts for 10 to 14% of its dry matter content [32].

β -Carotene serves as an essential nutrient, mainly as a food colouring, and is increasingly used in various dietary supplements due to its health-protective effects, but is also used preferentially by the cosmetics industry [33].

In the food industry, β -carotene is also used regularly in various soft drinks, cheeses, butter or margarines due to its beneficial physiological effect, as it possesses a provitamin activity [34].

Astaxanthin has a number of beneficial properties, including improving eye health, muscle strength and endurance, protecting the skin, reducing premature aging, inflammation and damage caused by UVA radiation. It also plays an important role in animal feeding, as it promotes growth and reproduction, improves vision, has an immunostimulatory effect and also aids in post-injury regeneration [35, 36].

Numerous studies have shown that daily intake of astaxanthin protects cells and tissues from oxidative effects and that its effect on free radicals is significantly, about 500 times more intense than that of vitamin E. The microalga *Haematococcus pluvialis* produces 4-5% astaxanthin on the basis of dry biomass [37], so its dried biomass is marketed as a rich source of astaxanthin and is sold on the market at a price of about 2,500 US \$/kg.

4.4.2. Chlorophyll

Each alga contains one or more chlorophylls. Their primary photosynthetic pigment is chlorophyll-a, and it is also the only chlorophyll in Cyanobacteria (blue-green algae) and red algae (Rhodophyta). Like all higher plants, Chlorophytes (true green seaweeds) and Euglenophytes (flagellate seaweeds) also contain chlorophyll-b; chlorophyll-c, -d and -e are found in many other marine algae. The quantity of chlorophylls is usually up to 0.5-1.5% of the dry matter content [38].

In addition to being used as a food and pharmaceutical colourant, chlorophyll derivatives also have a health-protective effect. They are also traditionally used because of their wound healing and anti-inflammatory properties [39]. Epidemiological studies conducted in the Netherlands (Cohort Study) have shown a significant correlation between chlorophyll consumption and a reduction in the risk of colon cancer [40].

4.4.3. Phycobilins

In addition to chlorophyll and carotenoid lipophilic pigments, Cyanobacteria (blue-green algae), Rhodophytes (red algae) and Cryptophyta algae also contain so-called phycobilins, which are coloured, fluorescent pigments. Like chlorophylls, they bind to proteins (phycobiliproteins) which, contrary to chlorophyll-protein complexes located in the membranes, are water-soluble proteins and are important components of the photochemical system. Significant amounts of phycobilins, mainly blue phycocyanin and red phycoerythrin are found in *Spirulina* algae and *Porphyridium*, respectively.

The use of phycobilins is quite widespread. In addition to being widely used in clinical immunofluorescence studies to detect fluorescently labeled antibodies as a fluorescent marker [38], phycocyanin is currently used in Japan and China as a natural colourant in foods, such as chewing gums, candies, dairy products, jellies, ice creams and soft drinks. It is also widely used in the cosmetics industry, for example, in lipsticks, eyeliners and eyeshadows [41].

According to a study, phycocyanin is one of the most versatile blue colourant, providing a bright blue colour to various jellies and coated soft candies [42], while a number of pharmacological properties are also attributed to phycocyanin, including antioxidant, anti-inflammatory, neuroprotective and hepatoprotective effects [43, 44, 45].

4.5. Tocopherols and sterols

Tocopherols are widespread in nature, occurring in both lower and higher plants as parts of the photosynthetic system.

Research in this area has revealed that *Euglena* has the highest content of tocopherols among the various microalgae species [46].

The sterols produced by plants are called phytosterols. Microalgae can make a major contribution to the production of phytosterols, they can be considered as efficient and promising sources for their large-scale production. Some microalgae contain high levels of sterols. Microalgae sterols have health-protective,

cholesterol lowering and anti-inflammatory properties, and are effective in the treatment of certain neurological diseases, such as Parkinson's disease [47, 48], and are increasingly used in the food industry as dietary supplements and food ingredients [49, 50]. Some microalgae, such as species belonging to the genera *Pavlova* and *Thalassiosira*, are rich in sterols [51, 52].

4.6. Vitamins, minerals

Microalgae biomass is a valuable source of almost all essential vitamins, as it contains vitamins B₁, B₂, B₃, B₅, B₆, B₁₂, C, E and H, among other things, and its mineral content (e.g., Na, K, Ca, Mg, Fe, Zn and trace elements) is also significant [53]. The vitamin B₁₂ and iron content of some microalgae, such as *Spirulina* species, is particularly high, therefore, they are often used in foods and dietary supplements made for vegetarians.

The vitamin content of algae depends on the genotype, as well as the stage of the growth cycle, the nutrition of the algae and the light intensity. Thus, their vitamin content can be increased by selecting the right species, choosing the right culture conditions and/or by genetically modifying them. However, the vitamin content of the cells can be significantly reduced by using inappropriate environmental conditions, harvesting and biomass drying methods [54].

4.7. Antioxidants

Microalgae are photoautotrophic organisms, that is, organisms that depend on light as the energy source to produce organic molecules from inorganic molecules. This process is known as photosynthesis, and the food chain is usually based on these organisms. During their development, these organisms have developed an effective defense system against various abiotic effects affecting them, such as high levels of free radicals and reactive oxygen species [23]. Due to the high antioxidant content of certain algae species (e.g., *Isochrysis galbana*, *Chlorella vulgaris*, *Nannochloropsis oculata*, *Tetraselmis tetraethele*, *Chaetoceros calcitrans*), their use has been increasing in some cosmetics (e.g., sunscreens) and in functional foods.

The research of Natrah et al. [55] has shown that the methanolic extract of some fresh/untreated microalgae exhibits an antioxidant activity that is higher than that of α -tocopherol, but lower than that of the synthetic antioxidant BHT (butylhydroxytoluene). However, the latter and BHA (butylhydroxyanisole) being synthetic antioxidants, their safe use is questionable, as their use in high doses may be carcinogenic and tumorigenic [56, 57].

4.8. Other biologically active components

Microalgae are undoubtedly a large repository of versatile compounds with significant biological activity, as well as unique and interesting structure and function [58].

In recent decades, marine microorganisms, especially Cyanobacteria, have become the focus of medical research aimed at developing new drugs and antibiotics. Data published up to 1996 revealed about 208 Cyanobacterial compounds exhibiting biological activity. By 2001, the number rose to 424. The compounds identified include various lipoproteins (40%), alkaloids, amides, etc. [59], many of which have cytotoxic, antitumor, antimicrobial (antibacterial, antifungal), antiviral (e.g., anti-HIV) activities, as well as biomodulatory, for example, immunosuppressive and anti-inflammatory effects [59, 60].

Numerous studies have shown that microalgae may also contain compounds that are effective in treating cancer and tumors by inhibiting angiogenesis. Angiogenesis is a physiological process during which new blood vessels emerge from existing blood vessels. Although angiogenesis is a normal process, pathological conditions can develop under certain conditions, such as cancer, atherosclerosis, arthritis, diabetic retinopathy and ischemic stroke. Pathological angiogenesis promotes the development and growth of tumors [61, 62]. Fucoxanthin and fucoxanthinol, found in many species of microalgae, have been shown to inhibit the process of angiogenesis in the aortic ring of rats by reducing the formation and growth of microvessels [63]. Fucoxanthin has also been shown to protect DNA from photooxidation [64]. Microalgae, especially blue-green algae, are currently considered to be potential sources of active ingredients that can be used in the treatment of cancer, as several studies have demonstrated their anti-cancer effects [65].

5. Some major microalgal species

Although many indigenous microalgal populations have been used for various purposes for centuries, their large-scale cultivation has only begun in the last few decades [66]. Of the assumed roughly 30,000 species of microalgae, only a few thousands are kept in stock collections [67, 68], of which a few hundred are considered more important due to their chemical composition, and very few are grown in industrial quantities [69].

The biotechnologically most relevant microalgae include green algae (Chlorophyta), such as *Chlorella vulgaris*, *Haematococcus pluvialis*, *Dunaliella salina* and *Spirulina maxima*, which belongs to the phylum of Cyanobacteria. Their cultivation, marketing and use are very significant, mainly as dietary supplements and animal feed additives.

5.1. *Spirulina species*

Spirulina (Arthrospira) algae are a tiny, filamentous, freshwater, spiral-shaped, blue-green algae species that is abundant in the alkaline lakes of Mexico and Africa and has been consumed by the local population since ancient times [59]. Its characteristic feature is that its cell membrane is very weak, and this makes it easy to utilize. It is also one of its important physiological features that it can easily become a colloidal solution when exposed to moisture and is very easy to digest. *Spirulina* is widely grown all over the world (3,000 tons/year) and is used as a food and feed supplement due to its high protein content (60 to 70%, including 18 amino acids, 8 of which are essential) and its excellent nutritional value. For example, its γ -linoleic acid content is remarkably high [70, 71]. Its digestibility and absorption are superior to both animal and plant proteins. It contains the vitamins important to the body (C, B₁, B₂, B₅, B₆, B₉, B₁₂, A, E), trace elements, of which iron, iodine, calcium, sodium, potassium, copper, magnesium, manganese, zinc, phosphorus, selenium, chromium and vanadium are the most significant. It is a particularly good source of iodine and potassium. It stimulates the immune system greatly due to its high content of β -carotene, chlorophyll and γ -linolenic acid. Its polyunsaturated fatty acid content is significantly higher than that of marine fish. *Spirulina* contains high levels of GLA (gamma-linolenic acid), which is found in greater amounts only in breast milk. *Spirulina* has a number of health-protecting effects: it lowers high blood fat levels, cholesterol levels, high blood pressure, elevated blood sugar levels, is suitable for treating kidney failure, and promotes the growth of probiotics, such as *Lactobacilli*, in the gut [19]. It is the main source of natural phycocyanin, used as a natural blue colourant in foods and cosmetic products, and also as a biochemical tracer in immunoassays [70, 71, 72].

5.2. *Chlorella vulgaris*

This species of algae is one of the oldest, simplest plants on Earth. Its nearly 4% chlorophyll content, strong cell wall and high pigment and cellulose content make the detoxifying effect of *Chlorella* unique. It binds and removes heavy metals from the body, cleanses the intestinal flora. By improving liver function, it helps to remove other contaminants, in addition to heavy metals, and to detoxify the body.

Its physiological effects are similar to those of *Spirulina*: it is high in protein, contains all the essential amino acids, and it is a storehouse of various vitamins, trace elements and minerals. *Chlorella vulgaris* has been used in the Far East since ancient times in alternative medicine, as well as in the preparation of various traditional foods. It is widely cultivated and used, primarily in animal feeding, aquaculture and as a dietary supplement, in many countries, including China, Japan, Europe and the United States. The health-protecting effects of *Chlorella* are manifested, for example, in the rapid healing of stomach ulcers and other wounds, and it is useful in the treatment of constipation, anemia, hypertension, diabetes, infant malnutrition and neurosis. The prophylactic role of the glycolipids found in *Chlorella* against the development of atherosclerosis and hypocholesterolemia has been demonstrated by research [58]. However, one of the most important substances in *Chlorella* is β -1,3-glucan, which is an active immunostimulant, it binds free radicals and reduces the amount of blood fats [19].

The γ -linolenic acid (GLA) content of *Spirulina* and *Chlorella* is very high. The role of GLA in the functioning of the body is extremely diverse. On the one hand, it is important for the proper functioning of the immune system, and on the other hand, it has an anti-inflammatory effect, lowers blood pressure and improves blood circulation. It prevents platelets from sticking together, thus reducing the risk of formation of blood clots. It has a positive effect on cholesterol levels, thus reducing the risk of atherosclerosis. It improves nervous system function and eliminates excess fluid from the body.

5.3. *Haematococcus pluvialis*

This freshwater microalgae, with a size of barely 0.1 mm, attracted the interest of researchers early on. *Haematococcus pluvialis* is the plant with the highest astaxanthin content (1.5-3.0% dry weight) based on previous research. This carotenoid pigment has a very strong radical scavenging effect that exceeds the antioxidant properties of β -carotene, vitamin C and vitamin E. The astaxanthin production of the algae is a natural reaction to environmental stress. Thanks to the protective functions of astaxanthin, in a state of deep sleep, these algae can survive without food and water for more than 40 years, so they can easily survive the heat of summer or the icy cold of winter. They will only wake up again and regain their original green, active state when living conditions are right again. As a result, algae defied the harshest environmental conditions even at the early stages of Earth's history. The ability of certain algae species to survive both droughts and ice ages is due to their astaxanthin shield. Astaxanthin is a bioactive antioxidant that has been shown to be

effective against Alzheimer's disease and Parkinson's disease, as well as macular degeneration in both animal and human experiments. In some cosmetics, the astaxanthin used can slow down the aging process of the skin. In addition, the immune-boosting and anti-inflammatory effects of astaxanthin have been reported, as well as its beneficial effects on the development of cardiovascular diseases and atherosclerosis.

Haematococcus pluvialis is currently a natural source of this pigment, its commercial utilization is outstanding, especially in aquaculture (salmon and trout farming) [73]. There is another natural source of astaxanthin, however, the yeast *Xanthophyllomyces dendrorhous* requires large amounts of expensive nutrients for proper pigmentation [36].

5.4. *Dunaliella salina*

Dunaliella salina is a halotolerant microalgae, its natural habitats being salt lakes. It is able to accumulate large amounts of β -carotene, which is why this species of algae is sought after mainly as a food colourant. Research has shown that the *Dunaliella salina* community in Pink Lake, Victoria, Australia, can produce up to 14% carotenoids [74] and some *Dunaliella* algae can contain up to 10% in cultivated cultures.

Higher β -carotene content can be achieved with adequate nutrient supply under high salt and light conditions [75, 76]. Similarly to *Haematococcus* algae, *Dunaliella* contains significant amounts of astaxanthin. However, *Haematococcus* is a freshwater algae that is difficult to grow in outdoor cultures because it is easily infected, requiring a closed system, and the extraction of astaxanthin is more complicated than in the case of *Dunaliella*, as *Haematococcus* has a thick cell wall that has to be disrupted by physical methods.

6. Use for animal feed

Today, many species of microalgae (e.g., *Chlorella*, *Tetraselmis*, *Spirulina*, *Nannochloropsis*, *Nitzschia*, *Navicula*, *Chaetoceros*, *Scenedesmus*, *Haematococcus*, *Cryptocodinium*) are used to feed farm animals, pets and fish.

Even a small amount of microalgae biomass has an immunostimulatory effect, which results in growth stimulation, disease resistance, has antiviral and antibacterial effects, improves absorption and the colonization stimulation of probiotic cultures such as Lactobacilli, and thus results in an increase in reproductive performance and weight [77]. By providing feeds that contain algae, the appearance of the animals improves visibly, which is manifested in a healthy skin and a shiny coat, both in the case of farm animals (poultry, cows, breeding bulls) and in the case of pets (cats, dogs, rabbits, ornamental fish and birds) [78].

Feed is the main exogenous factor influencing animal health and accounts for a significant part of the major cost of animal husbandry, and so it is very important to identify high quality, chemical and toxic substance free alternative protein sources that can replace or complement traditional protein sources [26]. The results of a large number of nutritional and toxicological evaluations have demonstrated the suitability of algal biomass as a valuable feed supplement [38]. Currently, about 30% of the global algae production is sold for feed purposes [53].

Becker et al [53] performed feeding experiments on broiler chickens, in which conventional proteins were replaced with species of different microalgae, namely *Chlorella*, *Euglena*, *Oocystis*, *Scenedesmus*, *Spirulina*, usually at a rate of 10%. In laying hens, no differences were found in egg production and egg quality (size, weight, shell thickness, egg solids, albumin index, etc.) and in feed conversion efficiency between birds fed with algae-containing feeds and the control birds.

However, *Haematococcus* microalgae can also be used as a natural colourant in the feeding of broiler chickens, making the skin of the birds yellower and the egg yolk more orange [79]. Studies were performed on chickens that were fed the biomass (5% or 10%) of red microalgae (*Porphyridium* species). Although no difference was found in the body weight and egg count of the chickens, the composition of the meat and eggs showed decreased cholesterol levels (by 10%) and healthier fatty acid composition and increased linoleic acid and arachidonic acid levels (by 29% and 24%, respectively). In addition, the colour of the egg yolk was darker due to a carotenoid content that was 2.4 times higher than average [80]. At the same time, it was observed that chickens fed with algal biomass consumed 10% less food in the case of feeds containing either 5% or 10% algae, and had serum cholesterol levels significantly lower (by 11% and 28%, respectively) than that of the control group.

Microalgae biomass is a feed with excellent nutritional values and is eminently suitable for breeding pigs. They can be used to replace traditional proteins such as soy flour or fish meal, and their acceptance is not difficult for the animals [38].

It is hypothesized that algae may be an excellent food source for ruminants, as these animals are able to digest even the cell wall of unprocessed algae. However, only a limited number of experiments have been performed with these animal species, as these procedures are expensive and large amounts of algae are required to perform appropriate feeding experiments. However, some experiments have shown that sheep, lambs and cattle were unable to digest the carbohydrate fraction efficiently when fed certain algal species (e.g., *Chlorella*, *Scenedesmus obliquus* és *Scenedesmus quadricauda*) [81, 82]. Better digestibility was achieved when *Spirulina* accounted for 20% of the total sheep feed, and it was observed that in calves fed a diet containing *Scenedesmus* algae, there were only minimal differences when compared to animals fed the control feed [83].

Microalgae feeds are currently used mainly to supplement and replace zooplankton used for the breeding of fish, fish fry and other aquatic animals (crustaceans, etc.) [84, 85]. The species most often used in aquaculture are *Chlorella*, *Tetraselmis*, *Isochrysis*, *Pavlova*, *Phaeodactylum*, *Chaetoceros*, *Nannochloropsis*, *Skeletonema* and *Thalassiosira* [86, 87].

Microalgae contain nutrients that are essential for aquatic animals, and these determine the quality, growth, health and disease resistance of the farmed animals. Mixed microalgae cultures have been shown to be useful for animal growth to provide adequate protein composition, vitamin content and high levels of polyunsaturated fatty acids (mainly EPA, AA and DHA), which are vital for the survival and growth of many freshwater and marine animals in the early stages of life [88]. One of the beneficial effects of algae is attributed to the fact that they increase the food intake of marine fish offspring, which enhances their growth and survival, and also improves the quality of fish meat [89]. In addition, the presence of algae in the breeding tanks of European sea bass larvae has been shown to increase digestive enzyme secretion [90]. When many aquatic species, such as Salmonidae (salmon and trout), shrimp, lobster, marine vertebrates, goldfish and koi carp are kept under intensive conditions, carotenoid colourants are added to their feed to achieve their characteristic muscle colour. Carotenoids, such as astaxanthin and canthaxanthin, have beneficial effects on animal health, growth and reproduction, by promoting the development of larvae [33].

7. Food use

In the early 1950s, microalgae were used to replace certain foods and were often used as single cell proteins in the diets of malnourished children and adults. Today, in human nutrition, microalgae are marketed in the form of various dietary supplement pills, capsules and liquids [91].

Gross et al conducted research in which *Scenedesmus obliquus* algae was added to the normal diet of children (5 g/day) and adults (10 g/day) during a four-week test period. Blood panel, urine composition, serum protein and uric acid concentration and weight change were measured, but the parameters analyzed did not deviate from normal values, only a slight increase in body weight was observed.

The same authors subsequently performed a three-week study in both slightly (Group I) and severely (Group II) malnourished four-year-old children. Four-year-old children in Group I (10 g algae/day) showed a significant weight gain (27 g/day) compared to children in the control group who received a normal diet, and no adverse symptoms were experienced. Group II was fed a diet enriched with 0.87 g algae/kg body weight, replacing only 8% of the total protein with algae protein, and the daily weight gain was approximately seven times that of children in the control group, while all anthropogenic parameters were normal. The authors concluded that the significant improvement in health can be attributed not only to algae protein but also to other important health-protective and immune-enhancing components [92].

Large-scale production of microalgae suitable for human consumption has been growing worldwide. There are many forms of microalgae and other health-protective dietary supplements on the market, such as various pills, powders, capsules, lozenges and liquids [23, 93]. Microalgae are also used in the preparation of various foods, such as algae pastries, biscuits, breads, snacks, candies, yogurts and soft drinks, which also provide the health and immunomodulatory effects associated with microalgae biomass [94].

Despite some reluctance on the part of consumers over novel foods in recent decades, there is a growing consumer demand for natural, health-enhancing foods today. Thus, functional foods containing microalgae biomass are also becoming increasingly popular. These products are also proving to be very attractive and varied from a sensory point of view, and their consumption also brings health benefits, satisfying consumer needs in all respects [23].

8. Acknowledgement

We are grateful for the funding of the NKTH, TKP2020-NKA 24 "Thematic Excellence Program".

9. References

- [1] Field, C.B., Behrenfeld, M.J., Randerson, J.T., Falkowski, P. (1998): *Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components*. Science, 281, pp. 237-240. <https://doi.org/10.1126/science.281.5374.237>
- [2] https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/2011_0001_519_42644_II/ch01s04.html
- [3] Brennan, L., Owende, P. (2010): Biofuels from microalgae- a review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. *Renew Sustain Energy Review*, 14, pp.557–77. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.009>
- [4] Khan, M. I., Shin, J. H., Kim, J. D. (2018): The promising future of microalgae: current status, challenges, and optimization of a sustainable and renewable industry for biofuels, feed, and other products. *Microbial Cell Factories*, 17, <https://doi.org/10.1186/s12934-018-0879-x>
- [5] de Medeiros, V.P.B., da Costa, W.K.A, da Silva, R.T., Pimentel, T.C., Magnani, M. (2021): Microalgae as source of functional ingredients in new-generation foods: challenges, technological effects, biological activity, and regulatory issues. *Critical Review in Food Science and Nutrition*, <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1879729>
- [6] Gouveia, L., Batista, A.P., Sousa, I., Raymundo, A., Bandarra, N. (2008): Microalgae in novel food products. In: Konstantinos N, Papadopoulos PP, editors. *food chemistry research development*. New York: Nova Science Publishers; pp. 75–112.
- [7] Guill-Guerrero, J.L., Navarro-Juárez, R., López-Martínez, J.C., Campra-Madrid, P., Reboloso-Fuentes, M.M. (2004): Functional properties of the biomass of the three microalgal species. *Journal of Food Engineering*, 65, pp. 511-517. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.02.014>
- [8] Borowitzka, M.A. (1988): Vitamins and fine chemicals from micro-algae. In M.A. Borowitzka, and L.J. Borowitzka (Eds), *Micro-algal biotechnology* pp. 153-196. Cambridge, UK: Cambridge University Press
- [9] Stephen, B., Hayes M., (2017): Algal Proteins.:Extraction, application, and challenges concerning production. *Foods*.6, pp.33. <https://doi.org/10.3390/foods6050033>
- [10] Smee, D.F., Bailey, K.W., Wong, M.H., Keefe, B.R.O., Gustafson, K.R., Mishin, V.P., Gubareva, V.L. (2008): Treatment of influenza A (H1N1) virus infections in mice and ferrets with cyanovirin-N. *Antiviral Research*. 80, pp. 266–71. <https://doi.org/10.1016/j.antiviral.2008.06.003>
- [11] Arya V, Gupta VK. (2001): A review on marine immunomodulators. *International Journal of Pharmacy and Life Sciences*. 2, pp. 751-758.
- [12] Zappe, H., Snell. M.E., Bossard. M.J. (2008): PEGylation of cyanovirin-N, an entry inhibitor of HIV. *Advances Drug Delivivry Review*. 60(1), pp. 79–87. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2007.05.016>
- [13] Hu, F.B., Bronner, L., Willett, W.C., Stampfer, M.J., Rexrode, K.M., Albert, C.M. (2002): Fish and omega-3 fatty acid intake and risk of coronary heart disease in women. *JAMA*. 287, pp. 1815–1821. <https://doi.org/10.1001/jama.287.14.1815>
- [14] Guedes, A.C.A. (2010): Production, extraction and characterization of selected metabolites from microalgae and cyanobacteria. Ph.D. Thesis Porto,: Escola Superior de Biotecnologia, Universidade Católica Portuguesa
- [15] Santhosh, S., Dhandapani, R., Hemalatha, R. (2016): Bioactive compounds from Microalgae and its different applications—a review. *Advances in Applied Science Research*. 7(4), pp. 153–158.
- [16] Bandarra, N.M., Pereira, P.A., Batista, I., and Vilela, M.H. (2003). Fatty acids, sterols and – tocopherol in *Isochrysis galbana*. *Journal of Food Lipids*, 18, 25-34. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4522.2003.tb00003.x>
- [17] Donato, M., Vilela, M.H., and Bandarra, N.M. (2003). Fatty acids, sterols, α -tocopherol and total carotenoids composition of *Diacronema vlkianum*. *Journal of Food Lipids*, 10, 267-276. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4522.2003.tb00020.x>
- [18] Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E., and Isambert, A. (2006). Commercial applications of Microalgae- review. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 101, 87-96. <https://doi.org/10.1263/jbb.101.87>
- [19] Hamilton M, Haslam R, Napier J, Sayanova O. Metabolic engineering of microalgae for enhanced production of omega-3 long chain polyunsaturated fatty acids. *Metab Eng*. 2014;22:3–9. <https://doi.org/10.1016/j.ymben.2013.12.003>

- [20] Draaisma RB, Wijffels RH, Slegers PM, Brentner LB, Roy A, Barbosa MJ. Food commodities from microalgae. *Curr Opin Biotechnol.* 2013;24:169–77. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2012.09.012>
- [21] Koller M, Muhr A, Braunegg G. Microalgae as versatile cellular factories for valued products. *Algal Res.* 2014;6:52–63. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2014.09.002>
- [22] Pulz, O., and Gross, W. (2004). Valuable products from biotechnology of microalgae. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 65, 635-648. <https://doi.org/10.1007/s00253-004-1647-x>
- [23] Van den Berg, H, Faulks, R., Granado, H.F., Hirschberg, J., Olmedilla, B., Sandmann, G., Southon, S., and Stahl, W. (2000). The potential for the improvement of carotenoid levels in foods and the likely systemic effects. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 880-912. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(20000515\)80:7<880::AID-JSFA646>3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(20000515)80:7<880::AID-JSFA646>3.0.CO;2-1)
- [24] Ben-Amotz, A., and Fishler, R. (1998). Analysis of carotenoids with emphasis on 9-*cis*- β -carotene in vegetables and fruits commonly consumed in Israel. *Food Chemistry*, 62, 515-520. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(97\)00196-9](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(97)00196-9)
- [25] Breithaupt, D.E. (2007). Modern application of xanthophylls in animal feeding - a review. *Trends in Food Science and Technology*, 18, 501-506. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2007.04.009>
- [26] Bhosale, P. (2004). Environmental and cultural stimulants in the production of carotenoids from microorganisms. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 63, 351-361. <https://doi.org/10.1007/s00253-003-1441-1>
- [27] Faure, H., Fayol, V., Galabert, C., Grolier, P., Moel, G.L., Steghens, J., Kappel, A.V., Nabet, F. (1999). Carotenoids: 1. Metabolism and physiology. *Annales de Biologie Clinique*, 57,169-183.
- [28] Raja, R., Hemaiswarya, S., and Rengasamy, R. (2007). Exploitation of *Dunaliella* for β -carotene production. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 74, 517-523. <https://doi.org/10.1007/s00253-006-0777-8>
- [29] Lobo V, Patil A, Phatak A, Chandra N. Free radicals, antioxidants and functional foods: impact on human health. *Pharmacogn Rev.* 2010;4(8):118–26. <https://doi.org/10.4103/0973-7847.70902>
- [30] Uttara B, Singh AV, Zamboni P, Mahajan R. Oxidative stress and neurodegenerative diseases: a review of upstream and downstream antioxidant therapeutic options. *Curr Neuropharmacol.* 2009;7(1):65–74. <https://doi.org/10.2174/157015909787602823>.
- [31] Pham-Huy LA, He H, Pham-Huy C. Free radicals, antioxidants in disease and health. *Int J Biomed Sci.* 2008;4(2):89–96.
- [32] Sathasivam R, Juntawong N. (2013):Modified medium for enhanced growth of *Dunaliella* strains. *Int J Curr Sci.*;5:67–73.
- [33] Baker, R., and Gunther, C. (2004). The role of carotenoids in consumer choice and the likely benefits from their inclusion into products for human consumption. *Trends in Food Science and Technology*, 15, 484-488. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2004.04.0094>
- [34] Tsuchiya, M., Scita, G., Freisleben, H.L., Kagan, V.E., and Packer, L. (1992). Antioxidant radical-scavenging activity of carotenoids and etinoids compared to β -tocopherol. *Methods of Enzymology*, 213, 460 – 472. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(92\)13148-Q](https://doi.org/10.1016/0076-6879(92)13148-Q)
- [35] Beckett, B.R., and Petkovich, M. (1999). Evolutionary conservation in retinoid signalling and metabolism. *American Zoology*, 39, 783-795. <https://doi.org/10.1093/icb/39.4.783>
- [36] Dufossé, L., Galaup, P., Yaron, A., Arad, S.M., Blanc, P., Murthy, K.N.C., and Ravishankar, G.A. (2005). Microorganisms and microalgae as sources of pigments for food use: ascientific oddity or an industrial reality?. *Trends in Food Science and Technology*, 16, 389-406. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.02.006>
- [37] Sathasivam R, Radhakrishnan R, Hashem A, Abd_Allah EF. Microalgae metabolites: a rich source for food and medicine. *Saudi J Biol Sci.* 2017. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.11.003>.
- [38] Becker, E.W. (1994). *Microalgae: biotechnology and microbiology*. Cambridge University Press.
- [39] Ferruzi, M.G., and Blakeslee, J. (2007). Digestion, absorption, and cancer preventive activity of dietary chlorophyll derivatives. *Nutrition Research*, 27, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2006.12.003>
- [40] Balder, HF, Vogel, J., Jansen, M.C., Weijenberg, M.P., van den Brandt, P.A., Westenbrink, S., van der Meer, R., and Goldbohm, R.A. (2006). Heme and chlorophyll intake and risk of colorectal cancer in the Netherlands cohort study. *Cancer Epidemiology Biomarkers and Prevention*, 15,717-725. <https://doi.org/10.1158/1055-9965.EPI-05-0772>

- [41] Sekar, S., and Chandramohan, M. (2007). Phycobiliproteins as a commodity: trends in applied research, patents and commercialization. *Journal of Applied Phycology*, <https://doi.org/10.1007/s10811-007-9188-1>
- [42] Jespersen, L., Strømdahl, L.D., Olsen, K., and Skibsted, L.H. (2005). Heat and light stability of three natural blue colorants for use in confectionery and beverages. *European Food Research and Technology*, *220*, 261–266. <https://doi.org/10.1007/s00217-004-1062-7>
- [43] Romay, C.H., Gonzalez, R., Ledon, N., Ramirez, D., and Rimbau, V. (2003). Phycocyanin: a biliprotein with antioxidant, anti-inflammatory and neuroprotective effects. *Current Protein and Peptide Science*, *4*, 207-216. <https://doi.org/10.2174/1389203033487216>
- [44] Benedetti, S., Benvenuti, F., Pagliarani, S., Francogli, S., Scoglio, S., and Canestrari, F. (2004). Antioxidant properties of a novel phycocyanin extract from the blue-green alga *Aphanizomenon flos-aquae*. *Life Sciences*, *55*, 2353-2362. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2004.06.004>
- [45] Bhat, V.B., and Madyastha, K.M. (2000). C-Phycocyanin: a potent peroxy radical scavenger in vivo and in vitro. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, *275*, 20-25. <https://doi.org/10.1006/bbrc.2000.3270>
- [46] Kusmic, C., Barsacchi, R., Barsanti, L., Gualteri, P., and Passarelli, V. (1999). *Euglena gracilis* as a source of the antioxidant vitamin E. Effects of culture conditions in the wildstrain and in the natural mutant WZSL. *Journal of Applied Phycology*, *10*, 555-559. <https://doi.org/10.1023/A:1008022305865>
- [47] Devaraj S, Jialal I. Vega-Lopez. Plant sterol-fortified orange juice effectively lowers cholesterol levels in mildly hypercholesterolemic healthy individuals. *Arterioscler Thromb Vasc Biol*. 2004;24:25–8.
- [48] Kim HJ, Fan X, Gabbi C, Yakimchuk K, Parini P, Warner M. Liver X receptor β (LXR β): a link between β -sitosterol and amyotrophic lateral sclerosis—Parkinson’s dementia Proc. Natl Acad Sci USA. 2008;105(6):2094–9.
- [49] Fernandes P, Cabral JM. Phytosterols: applications and recovery methods. *Bioresour Technol*. 2007;98(12):2335–50.
- [50] Srigley CT, Haile EA. Quantification of plant sterols/stanols in foods and dietary supplements containing added phytosterols. *J Food Compos Anal*. 2015;40:163–76. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2015.01.008>.
- [51] Luo X, Su P, Zhang W. Advances in microalgae-derived phytosterols for functional food and pharmaceutical applications. *Mar Drugs*. 2015;13(7):4231–54. <https://doi.org/10.3390/md13074231>
- [52] Volkman JK. A review of sterol markers for marine and terrigenous organic matter. *Org Geochem*. 1996;9:83–99. <https://doi.org/10.1161/01.ATV.0000120784.08823.99>
- [53] Becker, E.W. (2004). Microalgae in human and animal nutrition. In A. Richmond (Ed), *Handbook of microalgal culture* (pp. 312-351). Oxford: Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9780470995280.ch18>
- [54] Brown, M.R., Mular, M., Miller, I., Farmer, C., and Trenerry, C. (1999). The vitamin content of microalgae used in aquaculture. *Journal of Applied Phycology*, *11*, 247-255. <https://doi.org/10.1023/A:1008075903578>
- [55] Natrah, F., Yosoff, F.M. Shariff, M., Abas, F., and Mariana, N.S. Screening of Malaysian indigenous microalgae for antioxidant properties and nutritional value. *Journal of Applied Phycology* *19*, 711-718. <https://doi.org/10.1007/s10811-007-9192-5>
- [56] Schilderman, P.A.E.L., ten Vaarwerk, F.J., Lutgerink, J.T., Van der Wurff, A., ten Hoor, F., and Kleinjans, J.C.S. (1995). Induction of oxidative DNA damage and early lesions in rat gastro-intestinal epithelium in relation to prostaglandin H synthase-mediated metabolism of butylated hydroxyanisole. *Food and Chemical Toxicology*, *33*, 99-109. [https://doi.org/10.1016/0278-6915\(94\)00125-8](https://doi.org/10.1016/0278-6915(94)00125-8)
- [57] Aruoma, O.I. (2003). Methodological considerations for characterizing potential antioxidant actions of bioactive components in plant foods. *Mutation Research*, *523*, 9-20. [https://doi.org/10.1016/S0027-5107\(02\)00317-2](https://doi.org/10.1016/S0027-5107(02)00317-2)
- [58] Yamaguchi, K. (1997). Recent advances in microalgal bioscience in Japan, with special reference to utilization of biomass and metabolites: a review. *Journal of Applied Phycology*, *8*, 487-502. <https://doi.org/10.1007/BF02186327>
- [59] Burja, A.M., Banaigs, B., Abou-Mansour, E., Burgess, J.G., Wright, P.C. (2001). Marine cyanobacteria - a prolific source of natural products. *Tetrahedron*, *57*, 9347-9377. [https://doi.org/10.1016/S0040-4020\(01\)00931-0](https://doi.org/10.1016/S0040-4020(01)00931-0)

- [60] Singh, S., Kate, B.N., and Banerjee, U.C. (2005). Bioactive compounds from Cyanobacteria and Microalgae: an overview. *Critical Reviews in Biotechnology*, 25, 73-95. <https://doi.org/10.1080/07388550500248498>
- [61] Armstrong AW, Voyles SV, Armstrong EJ, Fuller EN, Rutledge JC. Angiogenesis and oxidative stress: common mechanisms linking psoriasis with atherosclerosis. *J Dermatol Sci*. 2011;63:1-9. <https://doi.org/10.1016/j.jdermsci.2011.04.007>
- [62] Cherrington JM, Strawn LM, Shawver LK. New paradigms for the treatment of cancer: the role of anti-angiogenesis agents. *Adv Cancer Res*. 2000;79:1-38. [https://doi.org/10.1016/S0065-230X\(00\)79001-4](https://doi.org/10.1016/S0065-230X(00)79001-4)
- [63] T, Matsubara K, Akagi R, Mori M, Hirata T. Antiangiogenic activity of brown algae fucoxanthin and its deacetylated product, fucoxanthinol. *Agric Food Chem*. 2006;54:9805-10. <https://doi.org/10.1021/jf062204q>
- [64] Heo SJ, Jeon YJ. Protective effect of fucoxanthin isolated from *Sargassum siliquastrum* on UV-B induced cell damage. *J Photochem Photobiol B*. 2009;95:101-7. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2008.11.011>
- [65] Russo P, Cesario A. New anticancer drugs from marine cyanobacteria. *Curr Drug Targets*. 2012;13(8):1048-53. <https://doi.org/10.2174/138945012802009035>
- [66] Borowitzka, M.A. (1999). Commercial production of microalgae: ponds, tanks, tubes and fermenters. *Journal of Biotechnology*, 70, 313-321. [https://doi.org/10.1016/S0168-1656\(99\)00083-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1656(99)00083-8)
- [67] Chaumont, D. (1993). Biotechnology of algal biomass production: a review of systems for outdoor mass culture. *Journal of Applied Phycology*, 5, 593-604. <https://doi.org/10.1007/BF02184638>
- [68] Radmer, R.J., and Parker, B.C. (1994). Commercial applications of algae: opportunities and constraints. *Journal of Applied Phycology*, 6, 93-98. <https://doi.org/10.1007/BF02186062>
- [69] Olaizola, M. (2003). Commercial development of microalgal biotechnology: from the test tube to the marketplace. *Biomolecular Engineering*, 20, 459-466. [https://doi.org/10.1016/S1389-0344\(03\)00076-5](https://doi.org/10.1016/S1389-0344(03)00076-5)
- [70] Ötles, S., and Pire, R. (2001). Fatty acid composition of *Chlorella* and *Spirulina* microalgae species. *Journal of AOAC International*, 84, 1708-1714. <https://doi.org/10.1093/jaoac/84.6.1708>
- [71] Shimamatsu, H. (2004). Mass production of *Spirulina*, an edible microalga. *Hydrobiologia*, 512, 39-44. <https://doi.org/10.1023/B:HYDR.0000020364.23796.04>
- [72] Kato, T. (1994). Blue pigment from *Spirulina*. *New Food Industry*, 29, 17-2.
- [73] Lorenz, R.T., and Cysewski, G.R. (2000). Commercial potential for *Haematococcus* microalgae as a natural source of astaxanthin. *Trends in Biotechnology*, 18, 160-167. [https://doi.org/10.1016/S0167-7799\(00\)01433-5](https://doi.org/10.1016/S0167-7799(00)01433-5)
- [74] Aasen, A.J., Eimhjellen, K.E., and Liaaen-Jensen, S. (1969). An extreme source of β -carotene. *Acta Chemica Scandinavica*, 23, 2544-2545. <https://doi.org/10.3891/acta.chem.scand.23-2544>
- [75] Ben-Amotz, A., and Avron, M. (1980). Glycerol, β -carotene and dry algal meal production by commercial cultivation of *Dunaliella*. In G. Shelef, and C.J. Soeder (Eds), *Algae Biomass* (pp. 603-610). Amsterdam: Elsevier/North Holland Biomedical Press.
- [76] Oren, A. (2005). A hundred years of *Dunaliella* research: 1905-2005. *Saline Systems*, 1, 2. <https://doi.org/10.1186/1746-1448-1-2>
- [77] Harel, M., and Clayton, D. (2004). *Feed formulation for terrestrial and aquatic animals*. US Patent 20070082008 (WO/2004/080196)
- [78] Certik, M., and Shimizu, S. (1999). Biosynthesis and regulation of microbial polyunsaturated fatty acid production. *Journal of Biosciences and Bioengineering*, 87, 1-14. [https://doi.org/10.1016/S1389-1723\(99\)80001-2](https://doi.org/10.1016/S1389-1723(99)80001-2)
- [79] Waldenstedt, L., Inbarr, J., Hansson, I., and Elwinger, K. (2003). Effects of astaxanthin-rich algal meal (*Haematococcus pluvialis*) on growth performance, caecal campylobacter and clostridial counts and tissue astaxanthin concentration of broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*, 18, 119-132. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(03\)00164-0](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(03)00164-0)
- [80] Ginzberg, A., Cohen, M., Sod-Moriah, U., Shany, S., Rosenshtrauch, A., and Arad, S. (2000). Chickens fed with biomass of the red microalga *Porphyridium* sp. have reduced blood cholesterol level and modified fatty acid composition in egg yolk. *Journal of Applied Phycology*, 12, 325-330. <https://doi.org/10.1023/A:1008102622276>

- [81] Hintz, H.F., Heitmann, H., Weir, W.C., Torell, D.T., and Meyer, J.H. (1966). Nutritive value of algae grown on sewage. *Journal of Animal Science*, 25, 675-681. <https://doi.org/10.2527/jas1966.253675x>
- [82] Davis, I.F., Sharkey, M.J., and Williams, D. (1975). Utilization of sewage algae in association with paper in diets of sheep. *Agriculture and Environment*, 2, 333-338. [https://doi.org/10.1016/0304-1131\(75\)90039-9](https://doi.org/10.1016/0304-1131(75)90039-9)
- [83] Calderon, C.J.F., Merino, Z.H., and Barragán, M.D. (1976). Valor alimenticio del alga espirulina (*Spirulina geitleri*) para ruminants. *Tecnica Pecuaria en Mexico*, 31, 42-46.
- [84] Benemann, J.R. (1992). Microalgae aquaculture feeds. *Journal of Applied Phycology*, 4, 233-245. <https://doi.org/10.1007/BF02161209>
- [85] Chen, Y.-C. (2003). Immobilized *Isochrysis galbana* (Haptophyta) for long-term storage and applications for feed and water quality control in clam (*Meretrix lusoria*) cultures. *Journal of Applied Phycology*, 15, 439-444. <https://doi.org/10.1023/A:1025134106985>
- [86] Apt, K.E., and Behrens, P.W. (1999). Commercial developments in microalgal biotechnology. *Journal of Phycology*, 35, 215-226. <https://doi.org/10.1046/j.1529-8817.1999.3520215.x>
- [87] Muller-Feuga, A. (2000). The role of microalgae in aquaculture: situation and trends. *Journal of Applied Phycology*, 12, 527-534. <https://doi.org/10.1023/A:1008106304417>
- [88] Volkman, J.K., Jeffery, S.W., Nichols, P.D., Rogers, G.I., and Garland, C.D. (1989). Fatty acid and lipid composition of 10 species of microalgae used in mariculture. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 128, 219-240. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(89\)90029-4](https://doi.org/10.1016/0022-0981(89)90029-4)
- [89] Naas, K.E., Naess, T., and Harboe, T. (1992). Enhanced 1st feeding of Halibut Larvae (*Hippoglossus hippoglossus* L) in green water. *Aquaculture*, 105, 143-156. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(92\)90126-6](https://doi.org/10.1016/0044-8486(92)90126-6)
- [90] Cahu, C.L., and Zambonino-Infante, J.L. (1998). Algal addition in sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larvae rearing: effect on digestive enzymes. *Aquaculture*, 161, 479-489. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(97\)00295-0](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00295-0)
- [91] Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E., and Isambert, A. (2006). Commercial applications of Microalgae- review. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 101, 87-96. <https://doi.org/10.1263/jbb.101.87>
- [92] Gross, R., Gross, U., Ramirez, A., Cuadra, K., Collazos, C., and Feldheim, W. (1978). Nutritional tests with green *Scenedesmus* with health and malnourished children. *Archiv fur Hydrobiologie, Beihefte Ergebnisse der Limnologie*, 11, 161-173.
- [93] Hallmann, A. (2007). Algal transgenics and biotechnology. *Transgenic Plant Journal*, 1, 81-98.
- [94] Belay, A. (1993). Current knowledge on potential health benefits of *Spirulina platensis*. *Journal of Applied Phycology*, 5, 235-240. <https://doi.org/10.1007/BF00004024>

Piros gyümölcsök minőségi jellemzői friss és liofilizálás utáni állapotban

Kulcsszavak: gyümölcs, liofilizálás, fagyasztva szárítás, Összes polifenol-tartalom (TPC – Total phenolic content), flavonoid, C-vitamin

1. ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánk során piros gyümölcsök minőségi jellemzőit, beltartalmi paramétereiket vizsgáltuk friss állapotukban és liofilizálás után. Az összehasonlítás célja volt, hogy felmérjük, a fagyasztva szárítás milyen hatással van ezekre a gyümölcsökre. A friss gyümölcsök elem- és szárazanyagtartalmát határoztuk meg, emellett az összes fenolos vegyület- és flavonoid tartalmuk, a C-vitamin-, a savtartalmuk változását is megvizsgáltuk. Az összes fenolos vegyület- és flavonoid tartalomban némi emelkedést, a C-vitamin esetén kisebb csökkenést tapasztaltunk, míg az összes sav mennyisége szinte harmadára csökkent a mintákban a liofilizálást követően.

¹ Debreceni Egyetem, Élelmiszertudományi Intézet

2. Bevezetés

Az elmúlt néhány évtizedben folyamatosan nőtt az érdeklődés a gyümölcsök, különösen a piros gyümölcsök antioxidáns hatásainak kutatása iránt, hiszen kiemelkedő táplálkozásélettani szerepükkel részt vesznek az emberi szervezet megfelelő működésében [1, 2]. A gyümölcsök rendkívül gazdagok fenolos vegyületekben, mint például tanninokban, antocianinokban, flavonoidokban, emellett igen jó vitaminforrásnak számítanak. Magas cukortartalmuk van, diétás rostokat és szerves savakat tartalmaznak (oxálsav, almasav, citromsav, fumársav), míg alacsony kalória- és zsírtartalommal rendelkeznek [11]. Ezek a növényi anyagok nagyobb koncentrációban vannak jelen az apró gyümölcsökben (áfonya, szeder, szamóca, meggy és málna) [13], ezáltal pozitív hatást gyakorolnak az emberi szervezet egészségére, teljesítményére, továbbá védelmet biztosíthatnak például emésztőrendszeri, szív- és érrendszeri, vagy egyéb krónikus betegségek ellen [3, 4, 5, 6, 7, 8].

A gyümölcsökben jelenlévő fenolos vegyületek a növényi metabolitok igen nagy csoportját alkotják és védelmi mechanizmusukat igen széles tartományban fejtik ki [9, 14]. Ezek a vegyületek a gyümölcsök érzékszervi tulajdonságait, minőségét is befolyásolják [11, 12]. A flavonoidok másodlagos növényi anyagcseretermékek, melyek a gyümölcsöket védő funkcióval rendelkeznek, például kiszáradás, fertőzések, mechanikai sérülések, stb. ellen [15]. A C-vitamin vízoldható vitamin, az emberi szervezet számára nélkülözhetetlen, hiszen többek között fontos szerepet játszik a skorbut elleni védekezésben, valamint az egészséges bőr, íny és erek fenntartásában [16]. Az antioxidáns hatásért nemcsak a bioaktív vegyületek lehetnek felelősek, hanem az ásványi anyagok is. Az emberi szervezet védekező mechanizmusának működésében kulcsfontosságúak az exogén antioxidánsok is, mint például a C-, E-vitamin, flavonoidok, karotinoidok, illetve az antioxidáns hatású elemek pl. a szelén, cink, mangán, stb. A piros gyümölcsök nagyobb mennyiségben tartalmazzák azokat az elemeket, melyek nélkülözhetetlenek az emberi szervezet egészséges működéséhez. Több tanulmány számolt be például az ilyen gyümölcsök magas kálium-, kalcium-, magnézium-, emellett kis mennyiségű nátrium tartalmáról [17, 18, 19, 20].

A gyümölcsök friss állapotban rövid időn belül megromlanak, eltarthatóságuk nedvességtartalmuk csökkentésével, azaz szárítással növelhető. Az élelmiszeripar számára az ilyen gyümölcsök előállítására nagy kihívást jelent, hiszen egyes szárítási folyamatok károsíthatják a növények antioxidáns hatását [10]. Ezért érdekes lehet felmérni, hogy a fagyasztva szárítás (mint kémleletes mód) hogyan befolyásolja a gyümölcsök bioaktív anyagtartalmát, antioxidáns hatását.

3. Anyag és módszer

Az általunk vizsgált gyümölcsök az szamóca (*Fragaria x ananassa*), málna (*Rubus idaeus*), meggy (*Prunus cerasus*), szeder (*Rubus*) és az áfonya (*Cyanococcus*). A friss gyümölcsöket ugyanazon kereskedelmi egységből szereztük be, termesztési helyük Magyarország észak-keleti régiója. A vizsgálatokat a friss gyümölcsök összes polifenol-, flavonoid-, sav-, és C-vitamin tartalmának vizsgálatával kezdtük. Ezután a friss gyümölcsöket egy Heto Powerdry PL 9000 típusú liofilizáló készülékkel -45 °C-on 24-48 órán át liofilizáltuk, majd a fenti vizsgálatokat elvégeztük a fagyasztva szárított minták esetén is. Elemtartalmat csak a friss minták esetén vizsgáltunk, mivel sem a szárítószekrény, sem a liofilizálás nincs hatással a növények elemtartalmára.

3.1. Szárazanyag-tartalom meghatározása

A friss gyümölcsök esetén a szárazanyag-tartalom meghatározását szárítószekrény (Memmert UF 75 Universal Oven, Memmert GmbH+Co. KG, Schwabach, Germany) segítségével végeztük. A mintákat 55 °C-on tömegállandóságig szárítottuk, 12 órán keresztül, majd képlet segítségével határoztuk meg a minták nedvesség-, illetve szárazanyag-tartalmát. Mivel a liofilizálás fagyasztva szárítási módszer, így a liofilizált minták esetén nem végeztünk további szárítást.

3.2. Összes polifenol-tartalom (TPC)

Az összes polifenol-tartalom meghatározását Folin-Ciocalteu-reagens alkalmazásával végeztük Singleton és munkatársai által meghatározott módszer szerint [21]. A mintákat homogenizálás után metanol (Scharlab S. L., Spain) és desztillált víz 80:20 arányú keverékében áztattuk, majd redős szűrőpapíron szűrtük (Sartorius Stedim Biotech S.A., Gottingen, Germany). A mintákból kémcsőbe 0,5 ml-t pipettáztunk, majd 2,5 ml Folin-Ciocalteu reagenst (VWR International S.A.S., France) és 2 ml 75 g/l-es koncentrációjú nátrium-karbonát (Scharlab S. L., Spain) oldatot adtunk hozzá. A színes vegyület kialakulásához a mintákat 2 órán keresztül szobahőmérsékleten fénytől védett helyen pihentettük, majd spektrofotométer (Evolution 300 LC, Thermo Electron Corporation, England) segítségével mértük a minták abszorbanciáját 1 cm-es küvettában 760 nm-en. Az összes fenolos vegyülettartalom meghatározásához szükséges kalibráló oldatot galluszsav (Alfa Aesar GmbH&Co. KG, Karlsruhe, Germany) törzsoldatból készítettük, így az eredményt mg GAE/100 g-ban (galluszsav-egyenérték – Gallic Acid Equivalent) kaptuk meg.

3.3. Flavonoid-tartalom meghatározása

Az összes flavonoid-tartalom meghatározásához spektrofotometriás módszert alkalmaztunk. A mintákat szintén metanol (Scharlab S. L., Spain) és desztillált víz 80:20 arányú keverékében áztattuk, majd redős szűrőpapíron szűrtük (Sartorius Stedim Biotech S.A., Gottingen, Germany). A szűrt mintákból 1 ml-t kémcsövekbe pipettáztunk, melyek 4 ml 20:80 metanol:desztillált víz elegyet tartalmaztak és 0,3 ml 5% nátrium-nitritet (Scharlau Chemie S.A., Spain), majd 5 percet vártunk. A várakozási idő letelte után a mintákhoz 0,3 ml 10% alumínium-kloridot (Scharlab S.L., Spain) pipettáztunk és 2 ml 1 M nátrium-hidroxid (Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Germany) oldatot, majd 10 ml-re egészítettük ki metanol: desztillált víz eleggyel. Végül mértük a minták abszorbanciáját 1 cm-es küvettában spektrofotométer (Evolution 300 LC, Thermo Electron Corporation, England) segítségével 510 nm-en. A kalibráló oldatokhoz catechin (Cayman Chemical Company, USA) törzsoldatot használtunk, az eredményeket mg CE/100 g-ban (Catechin Equivalent) kaptuk meg [22].

3.4. C-vitamin tartalom meghatározása

A minták C-vitamintartalmát metafoszforsav oldat segítségével határoztuk meg [23]. 5 g mintához 100 ml 3%-os metafoszforsav (Thermo Fischer GmbH, Germany) oldatot adtunk, majd összeturmixoltuk. Ezután 250 ml-es mérőlombikba mostuk át és további 50 ml metafoszforsavat adtunk hozzá. Redős szűrőpapíron (Sartorius Stedim Biotech S.A., Gottingen, Germany) szűrtük az elegyet. A szűrletből 50 ml-t pipettáztunk titráló lombikba, majd 30 ml desztillált vizet adtunk hozzá, valamint 5 ml 2%-os sósavat (VWR International S.A.S, France), 5 ml 1%-os kálium-jodidot (Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Germany) és 1 ml keményítő indikátort (VWR International S.A.S., France). Az elkészült oldatot végül 0,004 M kálium-jodáttal (Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Germany) titráltuk. Az eredményt mg/100 g-ban adtuk meg.

3.5. Összes savtartalom meghatározása

A savtartalom meghatározását Czipa (2014) által leírt módszer alapján végeztük [23]. A friss mintákat homogenizáltuk, a liofilizált mintákat porítottuk, majd 20 g-ot bemértünk Erlenmeyer-lombikba, majd hozzáadtunk 150 ml desztillált vizet. Alapos keverés után 85-95 °C-os vízfürdőn 30 percig főztük, majd hagytuk kihűlni szobahőmérsékletre. Ezután vattán szűrtük az elegyet és egy 250 ml-es mérőlombikban jelre töltöttük desztillált vízzel. A kapott szűrletből kipipettáztunk 25 ml-t, majd kiegészítettük desztillált vízzel 100 ml-re. Pár csepp fenoltalein indikátor jelenlétében 0,1 mólos nátrium-hidroxiddal (Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Germany) titráltuk. Az eredményt % mértékegységben adtuk meg.

3.6. Elemtartalom meghatározása

A minták előkészítését Kovács és munkatársai módszere [24] alapján végeztük. A vizsgálat során 3 g mintát mértünk be egy 100 ml-es roncsolócsőbe. A mintákhoz 10 ml tömény salétomsavat adtunk, egy éjszakán át állni hagytuk, majd 30 percig 60 °C-on melegítettük. Ezt követően a mintákhoz 3 ml hidrogén-peroxidot adtunk és ismét hőkezeltük 90 percig 120 °C-on. Az idő letelte után nagy tisztaságú desztillált vízzel (Milli-Q water purification system; Millipore SAS, Molsheim, France) 50 ml-re egészítettük ki, majd szűrtük 388-as szűrőpapíron (Sartorius Stedim Biotech S.A., Gottingen, Germany) a mintákat. Az elemtartalmat ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer) (Thermo Scientific iCAP 6300, Cambridge, UK) készülékkel mértük. Az elemeket a következő hullámhosszokon mértük: Ca (317,9 nm), K (766,4 nm), Mg (279,5 nm), Na (589,5 nm), P (185,9 nm), S (180,7 nm), Mn (259,3 nm), Zn (213,8 nm). Az ICP készülék kicsatolt teljesítménye 1200 W-ra volt beállítva.

3.7. Statisztika

A minták analitikai vizsgálatát minden esetben három ismétlésben végeztük el. Az eredmények kiértékelése során SPSS szoftvert használtunk (version 13; SPSS Inc. Chicago, Illinois, USA). A program segítségével meghatároztuk az átlagot és a szórást, majd az így kapott eredmények közötti statisztikailag igazolható különbségek meghatározásához Tukey és Dunnett's T3 tesztet (egytényezős varianciaanalízis) alkalmaztunk.

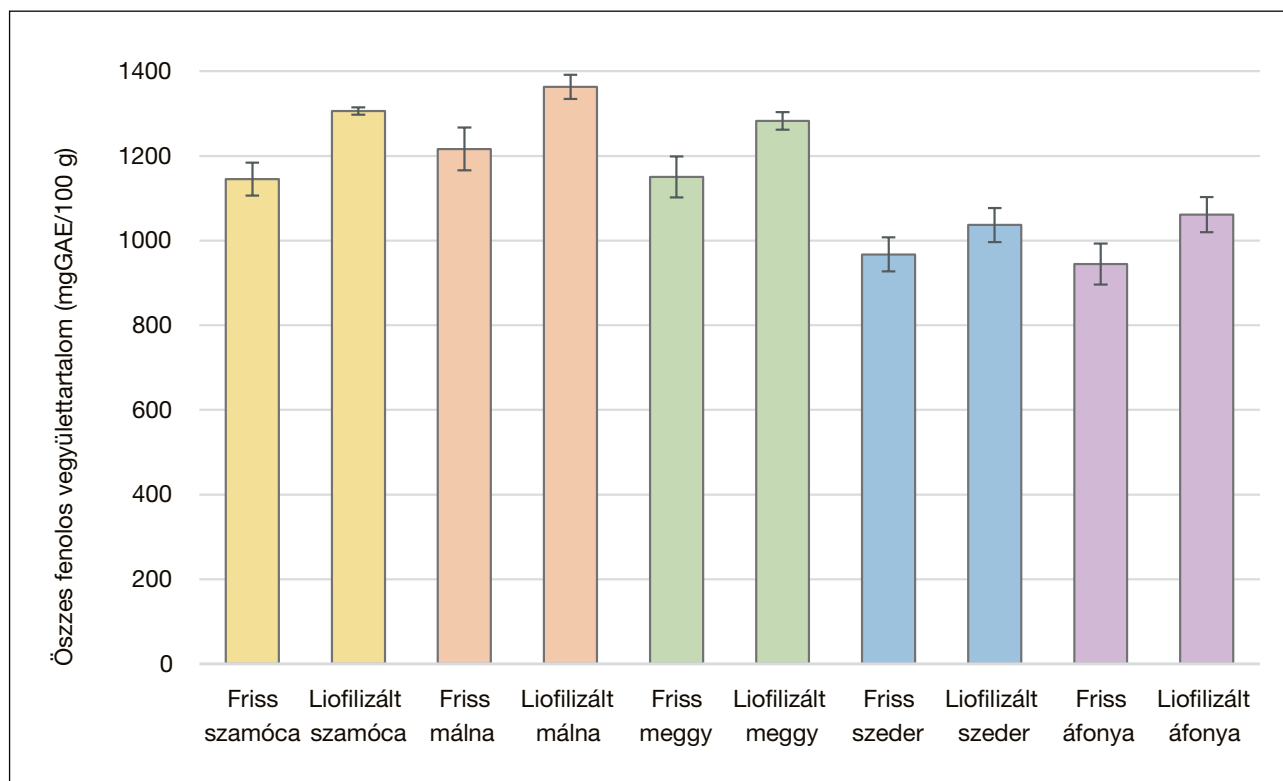
4. Eredmények

4.1. Szárazanyagtartalom

Az általunk vizsgált gyümölcsök közül a szamóca és a meggy rendelkezett a legalacsonyabb szárazanyagtartalommal (12,6%), míg a legnagyobb eredményt a szeder esetében kaptuk (16,8%). Ahhoz, hogy a különböző vizsgálatok eredményei összehasonlíthatók legyenek, minden esetben szárazanyagtartalomra vonatkozóan adtuk meg az értékeket.

4.2 Összes fenolos vegyülettartalom (TPC)

A nyers és liofilizált gyümölcsök összes fenolos-vegyülettartalmát az **1. ábra** foglalja össze. Valamennyi minta esetén igen magas értékeket kaptunk a vizsgálatok során (945-1363 mg GAE/100 g). Valamennyi liofilizált minta esetén magasabb eredményeket mértünk, mint a friss gyümölcsök esetén. Véleményünk szerint, ennek az lehet az oka, hogy ezekre a vegyületekre nézve a liofilizálás kíméletesebb szárítási módszer, mint szárítószekrényel végzett.

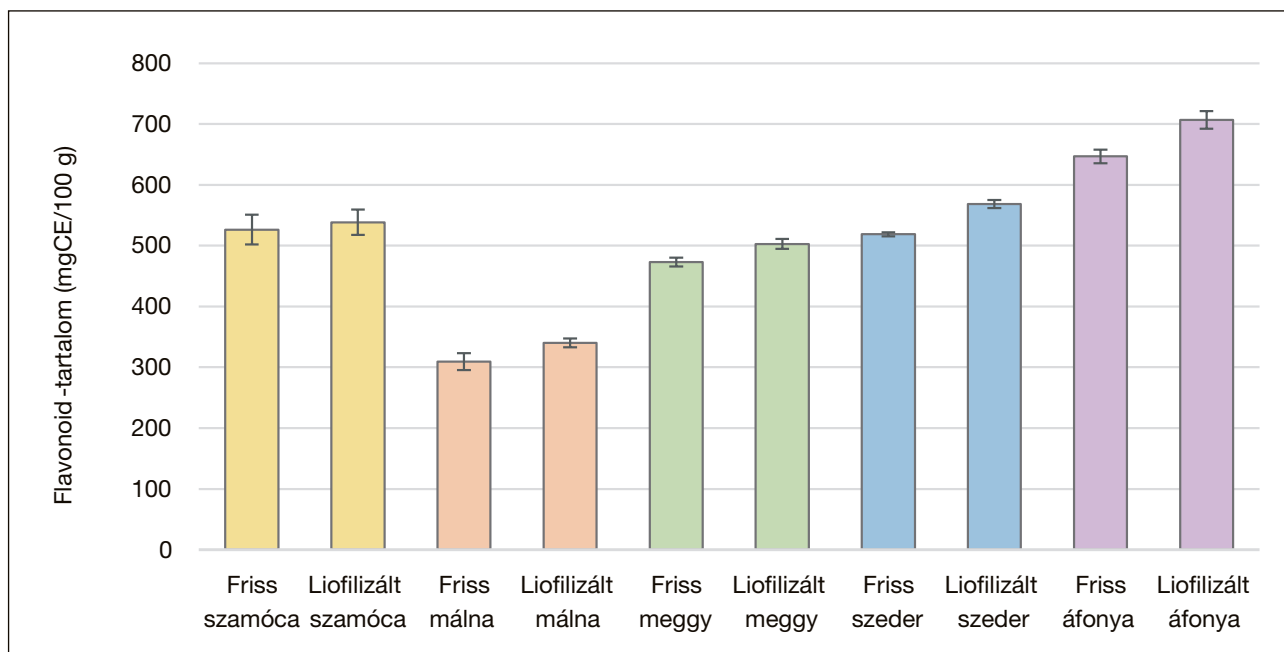


1. ábra. Friss és liofilizált gyümölcsök összes fenolos vegyülettartalma

Ahogy az ábrán is látható, nincs lényeges eltérés a friss szeder (967 mg GAE/100 g) és friss áfonya (945 mg GAE/100 g) esetén. Ezeknél a gyümölcsöknél a fenolos vegyülettartalom liofilizálás után sem lényegesen magasabb (1037-1061 mg GAE/100 g). Ezzel szemben az szamóca, málna és meggy 1145 és 1363 mg GAE/100 g közötti értékeket adtak. Szignifikánsan nincs különbség a friss szamóca és friss meggy (1145 és 1150 mg GAE/100 g), illetve a liofilizált szamóca és liofilizált meggy között (1306 és 1283 mg GAE/100 g).

4.3 Flavonoid-tartalom

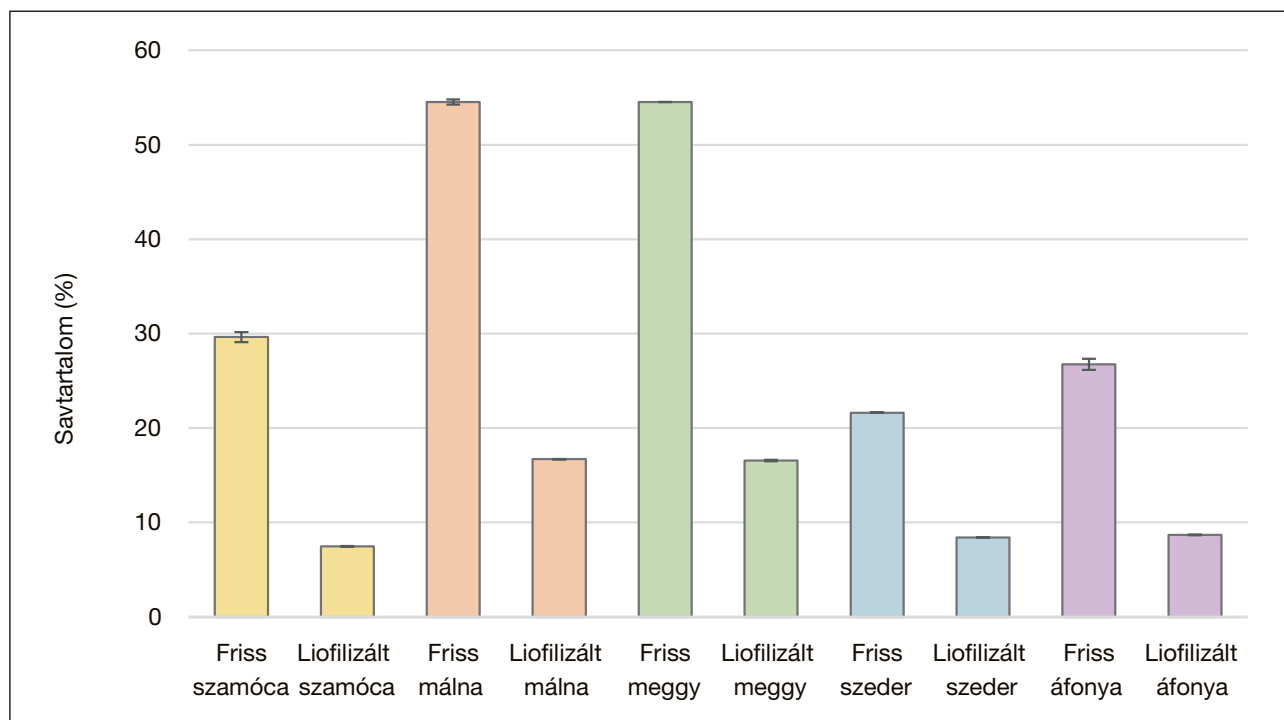
A vizsgált minták flavonoid-tartalmát a **2. ábra** szemlélteti. Jól látható, hogy a friss és a liofilizált minták között nincs lényeges eltérés, vagyis a liofilizálás nem befolyásolja lényegesen ezeknek a vegyületeknek a jelenlétét a mintákban. A fenolos vegyülettartalommal szemben, a málna flavonoid-tartalma volt a legalacsonyabb (309-340 mg CE/100 g), legmagasabb értékeket az áfonya mutatott (647-707 mg CE/100 g). A szamóca és a szeder esetén közel azonos eredményeket kaptunk, a különbségek statisztikailag minden esetben igazolhatók voltak.



2. ábra. Friss és liofilizált gyümölcsök összes flavonoid-tartalma

4.4. Összes savtartalom

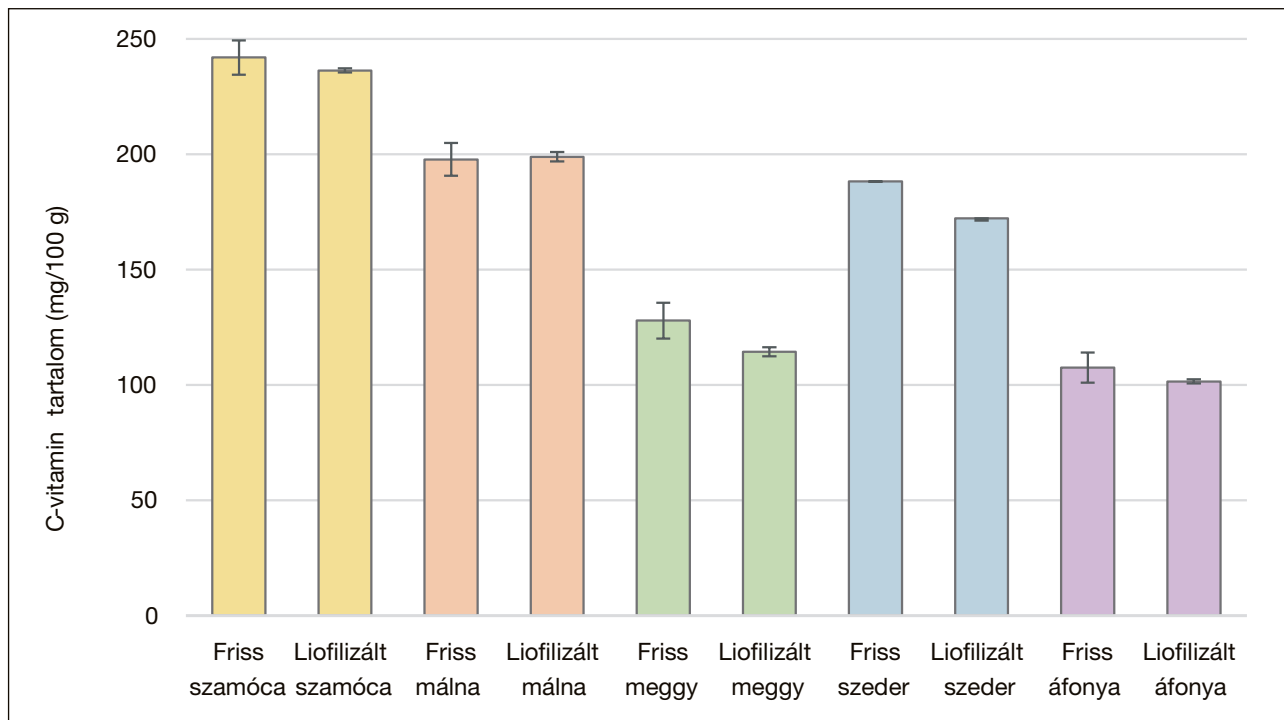
Az összes savtartalmat a **3. ábra** mutatja. Jól látható, hogy ezekre a vegyületekre a liofilizálás nem volt megfelelő hatással, hiszen minden minta esetén lényegesen alacsonyabb eredményeket kaptunk a friss gyümölcsökhöz képest. Igen magas savtartalmat mértünk a friss málna és a friss meggy esetén (54,4-54,5%). Liofilizálás hatására ezek az értékek harmadára csökkentek (16,6-16,7%). A többi gyümölcs esetén a savtartalom nem érte el a 30%-os értéket sem. Statisztikailag minden esetben igazolható különbségeket kaptunk, kivétel a liofilizált meggy és liofilizált málna között ($P=0,167$).



3. ábra. Friss és liofilizált gyümölcsök összes savtartalma

4.5. C-vitamin tartalom

A gyümölcsök C-vitamin tartalma a **4. ábrán** látható. Ez esetben a liofilizálás nem volt nagy hatással a C-vitamin tartalomra, hiszen ahogyan az ábrán is látható, minden minta esetén alacsonyabbak a liofilizálás utáni eredmények. A szamóca esetén kaptuk a legmagasabb értékeket (236 és 242 mg/100 g). A málna és a szeder között (172-199 mg/100 g), illetve a meggy és az áfonya (102-128 mg/100 g) esetén hasonló eredményeket kaptunk. Szinte minden esetben szignifikáns eredményeket kaptunk, kivétel a friss szamóca-friss málna, a friss málna-friss szeder, illetve a friss meggy-friss áfonya esetén.



4. ábra. Friss és liofilizált gyümölcsök C-vitamin tartalma

4.6. Elemtartalom

A minták elemtartalma az **1. táblázatban** látható. Bár több elem mérését végeztük el, az eredményekben csak a fontosabbakat emeljük ki. A gyümölcsök kalciumtartalma 240 és 2302 mg/kg között volt. Az eredmények közül az áfonya kalcium tartalma rendkívül alacsony volt a többi mintához képest (240 mg/kg). Statisztikailag nem volt igazolható különbség a szamóca és a szeder között ($P=0,096$).

1. táblázat. Friss gyümölcsök elemtartalma

Minták	Ca (mg/kg)	K (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Na (mg/kg)	P (mg/kg)	S (mg/kg)
Szamóca	2302±2	12693±9	1383±7	22,9±0,5	2012±2	541±1
Málna	1286±1	6983±4	1143±4	4,47±0,01	2024±3	500±1
Meggy	1458±2	9521±13	945±1	4,24±0,01	1677±3	533±0
Szeder	1956±8	6582±22	1225±8	23,1±0,2	1806±5	695±2
Áfonya	240±1	3765±7	195±2	5,15±0,14	863±2	445±1

A káliumtartalom az szamóca esetén volt a legmagasabb (12693 mg/kg). Ezzel szemben az áfonya rendkívül alacsony, 3765 mg/kg kálium tartalommal rendelkezik. A többi minta esetén 6582-9521 mg/kg közötti értékeket kaptunk. Statisztikailag minden esetben igazolhatóak voltak a különbségek. A gyümölcsök magnézium tartalma 195 és 1383 mg/kg volt. Az áfonya ebben az esetben is rendkívül alacsony, 195 mg/kg értéket mutatott. Ugyanakkor a szamóca magnézium tartalma 1383 mg/kg volt. Szinte minden esetben szignifikáns különbségeket kaptunk, kivétel a szamóca-málna és a meggy-málna között. A gyümölcsök nátrium tartalmára 5,15 és 23,1 mg/kg közötti értékeket kaptunk. A többi mintához képest igen magas volt az szamóca, illetve a szeder nátrium tartalma (22,9 és 23,1 mg/kg). A foszfor tartalom 863 és 2024 mg/kg közötti eredményt mutatott. Az áfonya a kalcium-, a kálium- és a magnézium-tartalomhoz hasonlóan a foszfor esetén is a legalacsonyabb eredményt adta (863 mg/kg). Minden minta esetében szignifikáns eredményeket

kaptunk. A kén esetén 445 és 695 mg/kg közötti értékeket mértünk. Legalacsonyabb eredményt az áfonya, legmagasabbat a szeder esetén kaptunk. Szignifikáns eredményeket kaptunk az áfonya-szamóca-meggy kivételével valamennyi esetben [25].

4.7. Következtetések

Különböző, piros színű gyümölcsök beltartalmi paramétereit vizsgáltuk. Célunk volt, hogy összehasonlítsuk vizsgált a paramétereket (összes fenolos vegyület-, flavonoid-, sav-, C-vitamintartalom) a gyümölcsök friss állapotában, illetve liofilizálás után. Emellett meghatároztuk a friss minták fontosabb elemtartalmát (kalcium, kálium, magnézium, nátrium, foszfor, kén) is. Az összes fenolos vegyület- és flavonoid tartalmukat tekintve minden gyümölcs esetén magasabb eredményeket kaptunk liofilizálás után. Ennek oka lehet, hogy a liofilizálás nincs olyan kedvezőtlen hatással ezekre a vegyületekre, mint a szárítószelekrény használata. Szintén pozitív eredményeket kaptunk a C-vitamin esetén. A liofilizálás kis mértékben csökkentette ennek a vitaminnak a jelenlétét ezekben a mintákban. A savtartalom ezzel ellentétben sokkal alacsonyabb eredményeket adott liofilizálás után. Elemtartalmukat tekintve legalacsonyabb értékekkel az áfonya rendelkezett, míg a legmagasabb értékeket a szamóca esetén kaptuk. A kapott eredmények alapján kijelenthető, hogy a vizsgált paraméterek esetén (a savtartalmat leszámítva), a fagyasztva szárítás, másnéven liofilizálás sokkal kíméletesebb szárítási módszer, mint a szárítószelekrény használata.

5. Irodalom

- [1] Fu L., Xu B.-T., Xu X.-R., Gan R.-Y., Zhang Y., Xi E.-Q., & Li H.-B. (2011): Antioxidant capacities and total phenolic contents of 62 fruits. *Food Chemistry* **129** (2) 345–350. pp. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.04.079>
- [2] Imeh U., Khokhar S. (2002): Distribution of Conjugated and Free Phenols in Fruits: Antioxidant Activity and Cultivar Variations. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **50** (22) 6301–6306. pp. <https://doi.org/10.1021/jf020342j>
- [3] de Souza V. R., Pereira P. A. P., da Silva, T. L. T., de Oliveira Lima L. C., Pio R., Queiroz F. (2014): Determination of the bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Brazilian blackberry, red raspberry, strawberry, blueberry and sweet cherry fruits. *Food Chemistry* **156** 362–368. pp.
- [4] Denardin C. C., Hirsch G. E., da Rocha R. F., Vizzotto M., Henriques A. T., Moreira J. C. F., Emanuelli T. (2015): Antioxidant capacity and bioactive compounds of four Brazilian native fruits. *Journal of Food and Drug Analysis* **23** (3) 387–398. pp. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2015.01.006>
- [5] Moo-Huchin V. M., Moo-Huchin M. I., Estrada-León R. J., Cuevas-Glory L., Estrada-Mota I. A., Ortiz-Vázquez E., Sauri-Duch E. (2015): Antioxidant compounds, antioxidant activity and phenolic content in peel from three tropical fruits from Yucatan, Mexico. *Food Chemistry* **166** 17–22. pp. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.127>
- [6] Yildiz H., Ercisli S., Hegedus A., Akbulut M., Topdas E. F., Aliman J. (2014): Bioactive content and antioxidant characteristics of wild (*Fragaria vesca* L.) and cultivated strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) fruits from Turkey. *Journal of Applied Botany and Food Quality* **87** 274–278. pp. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2014.087.038>
- [7] Slatnar A., Jakopic J., Stampar F., Veberic R., Jamnik P., (2012): The Effect of Bioactive Compounds on In Vitro and In Vivo Antioxidant Activity of Different Berry Juices. *PLoS ONE* **7** (10) 1–8. pp.
- [8] Namiesnik J., Vearasilp K., Nemirovski A., Leontowicz H., Leontowicz M., Pasko P., Martinez-Ayala A.L., González-Aguilar G.A., Suhaj M., Gorinstein S. (2014): In vitro studies on the relationship between the antioxidant activities of some berry extracts and their binding properties to serum albumin. *Applied Biochemistry and Biotechnology* **172** 2849–2865. pp.
- [9] Baiano A. (2014): Influence of genotype, pedoclimatic conditions, viticultural practices and ripening on the phenolic composition of grapes. A review. In J. S. Cámara (Ed.), *Grapes: Production, phenolic composition and potential biomedical effects. Food and Beverage Consumption and Health Series. New York, NY: Nova Science* 1–26. pp. ISBN: 978-1-63321-410-1
- [10] Lutz M., Hernández J., Henríquez C. (2015): Phenolic content and antioxidant capacity in fresh and dry fruits and vegetables grown in Chile. *CyTA - Journal of Food. Taylor & Francis.* 1–7. pp.
- [11] Aly A., Maraei R., El-Leel O. A. (2019): Comparative study of some bioactive compounds and their antioxidant activity of some berry types. *Slovak Journal of Food Sciences. Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences* **13** (1) 515–523. pp. <https://doi.org/10.5219/1132>

- [12] Lachowicz S., Kolniak-Ostek J., Oszmianski J., Wisniewski R. (2017): Comparison of phenolic content and antioxidant capacity of bear garlic (*Allium ursinum* L.) in different maturity stages. *Journal Food Processing and Preservation* **41** (1) 1–10. pp.
<https://doi.org/10.1111/jfpp.12921>
- [13] Toledo-Martín E., García-García M., Font R., Moreno-Rojas J., Salinas-Navarro M., Gómez P., del Río-Celestino M. (2018): Quantification of Total Phenolic and Carotenoid Content in Blackberries (*Rubus Fruticosus* L.) Using Near Infrared Spectroscopy (NIRS) and Multivariate Analysis. *Molecules* **23** (12) 3191. p.
<https://doi.org/10.3390/molecules23123191>
- [14] Zapata, P. J., Martínez-Esplá, A., Gironés-Vilaplana, A., Santos-Lax, D., Noguera-Artiaga, L., Carbonell-Barrachina, Á. A. (2019): Phenolic, volatile, and sensory profiles of beer enriched by macerating quince fruits. *LWT – Food Science and Technology* **103** 139–146. pp.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.01.002>
- [15] Oliveira K. G., Queiroz V. A. V., Carlos L. A., Cardoso L. M., Pinheiro-Sant’Ana H. M., Anunciacao P. C., Menezes C. B., Silva E. C., Barros F. (2017): Effect of the storage time and temperature on phenolic compounds from sorghum grain and flour. *Food Chemistry* **216** 390–398. pp.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.047>
- [16] Rekha C., Poornima G., Manasa M., Abhipsa V., Pavithra Devi J., Vijay Kumar H. T., Prashith Kekuda T. R. (2012): Ascorbic acid, total phenol content and antioxidant activity of fresh juices of four ripe and unripe citrus fruits. *Chem Sci Trans.* **1** (2) 303–310. pp.
<https://doi.org/10.7598/cst2012.182>
- [17] Nour V., Trandafir I., Ionica M. E. (2011): Ascorbic acid, anthocyanins, organic acids and mineral content of some black and red currant cultivars. *Fruits* **66** 353–362. pp.
<https://doi.org/10.1051/fruits/2011049>
- [18] Plessi M., Bertelli D., Albasini A., (2007): Distribution of metals and phenolic compounds as a criterion to evaluate variety of berries and related jams, *Food Chemistry* **100** 419–427. pp.
- [19] Nile, S. H., & Park, S. W. (2014). Edible berries: Bioactive components and their effect on human health. *Nutrition* **30** (2) 134–144. pp.
<https://doi.org/10.1016/j.nut.2013.04.007>
- [20] Rodler I. 2008. Élelmezés- és táplálkozás-egészségtan. *Medicina Könyvkiadó*, Budapest.
- [21] Singleton, V. L., Orthofer, R., Lamuela Raventos, R. M. (1999): Analysis of Total Phenols and Other Oxidation Substrates and Antioxidants by Means of Folin Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology* **299** 265–275. pp.
- [22] Kim, D.O, Jeong, S.W., Lee, C.Y. (2003): Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums. *Food Chemistry* **81** 321–326. pp.
- [23] Czipa, N. (2014): Élelmiszeranalitika gyakorlati jegyzet élelmiszermérnök BSc III. évfolyam részére. *Debreceni Egyetem*, Debrecen.
- [24] Kovács, B., Győri, Z., Csapó, J., Loch, J., Dániel, P. (1996): A study of plant sample preparation and inductively coupled plasma emission spectrometry parameters. *Communication in Soil Science and Plant Analysis* **27** (5-8) 1177–1198. pp.
- [25] Słupski, J., Lisiewska, Z., Kmiecik, W. (2005): Contents of macro and microelements in fresh and frozen dill (*Anethum graveolens* L.). *Food Chemistry* **91** (4) 737–743. pp.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.06.046>

Quality characteristics of red fruits fresh and after lyophilization

Keywords: fruit, lyophilization, freeze drying, Total phenolic content (TPC), flavonoid, vitamin C

1. SUMMARY

In our work, the quality characteristics and nutritional parameters of red fruits were examined in their fresh state and after lyophilization. The purpose of the comparison was to assess the effect of freeze drying on these fruits. The elemental and dry matter content of fresh fruits was determined, and the changes in their total phenolic compound and flavonoid content, as well as their vitamin C and acid content. A slight increase in the total phenolic compound and flavonoid content and a smaller decrease in the vitamin C content were observed, while the quantity of total acids was reduced in the sample to almost one-third after lyophilization.

¹ University of Debrecen, Institute of Food Science

Emőke TOPA
Loránd ALEXA
Andrea VARGA-KÁNTOR
Béla KOVÁCS
Nikolett CZIPA

papp-topa.emoke@agr.unideb.hu
alexal@agr.unideb.hu
kantor.andrea@agr.unideb.hu
kovacs@agr.unideb.hu
czipa@agr.unideb.hu

<https://orcid.org/0000-0002-0551-8058>
<https://orcid.org/0000-0001-5281-2340>
<https://orcid.org/0000-0003-2296-3011>
<https://orcid.org/0000-0002-6439-4753>
<https://orcid.org/0000-0001-6966-4380>

2. Introduction

Over the past few decades, there has been a steady increase in interest in research into the antioxidant effects of fruits, especially red fruits, as they support the proper functioning of the human body through their prominent role in nutritional physiology [1, 2]. Fruits are extremely rich in phenolic compounds, such as tannins, anthocyanins and flavonoids, and are considered a very good source of vitamins. They are high in sugar, contain dietary fiber and organic acids (oxalic acid, malic acid, citric acid, fumaric acid), while low in calories and fat [11]. These plant substances are present in higher concentrations in small fruits (blueberries, blackberries, strawberries, sour cherries and raspberries) [13], thus having a positive effect on the health and performance of the human body, and may provide protection against, for example, digestive, cardiovascular and other chronic diseases [3, 4, 5, 6, 7, 8].

Phenolic compounds present in fruits form a very large group of plant metabolites and exert their defense mechanisms over a very wide range [9, 14]. These compounds also affect the organoleptic properties and quality of the fruits [11, 12]. Flavonoids are secondary plant metabolites that have a protective function in fruits, against dehydration, infections, mechanical damage, etc. [15]. Vitamin C is a water-soluble vitamin that is essential for the human body, as it plays an important role in the defense against scurvy, as well as in maintaining healthy skin, gums and blood vessels, among other things [16]. Not only bioactive compounds, but also minerals may be responsible for the antioxidant effect. Exogenous antioxidants, such as vitamins C and E, flavonoids, carotenoids and elements with antioxidant effects, such as selenium, zinc, manganese, etc., are also key to the functioning of the human body's defense mechanism. Red fruits contain higher amounts of the elements that are essential for the healthy functioning of the human body. For example, several studies have reported high potassium, calcium and magnesium contents in such fruits, as well as their low sodium content [17, 18, 19, 20].

In their fresh state, the fruits spoil in a short time, and their shelf life can be extended by reducing their moisture content, i.e., by drying. The production of such fruits is a major challenge for the food industry, as some drying processes can damage the antioxidant effects of the plants [10]. Therefore, it may be interesting to assess how freeze drying (as a gentle method) affects the bioactive content and antioxidant effects of the fruits.

3. Materials and methods

The fruits examined by us were strawberries (*Fragaria x ananassa*), raspberries (*Rubus idaeus*), sour cherries (*Prunus cerasus*), blackberries (*Rubus*) and blueberries (*Cyanococcus*). Fresh fruits were obtained from the same commercial unit, their place of cultivation was the north-eastern region of Hungary. The tests were started by examining the total polyphenol, flavonoid, acid and vitamin C contents of the fresh fruits. Following this, fresh fruits were lyophilized using a Heto Powerdry PL 9000 lyophilizer at -45 °C for 24 to 48 hours, and then the above tests were again carried out on the freeze-dried samples. Element content was tested only in the case of fresh samples, as neither drying ovens nor lyophilization has not an effect on the element content of the plants.

3.1. Determination of dry matter content

In the case of fresh fruits, the dry matter content was determined using a drying oven (Mettler UF 75 Universal Oven, Mettler GmbH+Co. KG, Schwabach, Germany). Samples were dried at 55 °C to constant weight for 12 hours, and then the moisture and dry matter content of the samples was determined using a formula. As lyophilization is a freeze-drying method, no further drying was performed on the lyophilized samples.

3.2. Total phenolic content (TPC)

The total phenolic content was determined using Folin-Ciocalteu reagent according to the method described by Singleton et al. [21]. After homogenization, the samples were soaked in an 80:20 mixture of methanol (Scharlab S. L., Spain) and distilled water, then they were filtered through fluted filter paper (Sartorius Stedim Biotech S.A., Gottingen, Germany). 0.5 ml of the samples was pipetted into a test tube, followed by the addition of 2.5 ml of Folin-Ciocalteu reagent (VWR International S.A.S., France) and 2 ml of 75 g/l sodium carbonate (Scharlab S. L., Spain) solution. For the formation of the colored compound, the samples were allowed to stand for 2 hours at room temperature in a light-protected area, and then the absorbance of the samples was measured in a 1 cm cuvette at 760 nm using a spectrophotometer (Evolution 300 LC, Thermo Electron Corporation, England). The calibration solution used in the determination of the total phenolic content was prepared from a stock solution of gallic acid (Alfa Aesar GmbH&Co. KG, Karlsruhe, Germany), so the results were obtained in mg GAE/100 g (Gallic Acid Equivalent).

3.3. Determination of flavonoid content

A spectrophotometric method was used to determine the total flavonoid content. Samples were once again soaked in an 80:20 mixture of methanol (Scharlab S. L., Spain) and distilled water, then they were filtered through fluted filter paper (Sartorius Stedim Biotech S.A., Gottingen, Germany). 1 ml of the filtered samples was pipetted into test tubes containing 4 ml of a 20:80 methanol:distilled water mixture and 0.3 ml 5% of sodium nitrite (Scharlab Chemie S.A., Spain), then 5 minutes were allowed to pass. At the end of the waiting time, 0.3 ml 10% of aluminum chloride (Scharlab S.L., Spain) and 2 ml of 1 M sodium hydroxide (Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Germany) solution were pipetted to the samples, and the volume was filled to 10 ml using a methanol: distilled water mixture. Finally, the absorbance of the samples was measured in a 1 cm cuvette using a spectrophotometer (Evolution 300 LC, Thermo Electron Corporation, England) at 510 nm. A stock solution of catechin (Cayman Chemical Company, USA) was used for the calibration solutions, and the results were obtained in mg CE/100 g (Catechin Equivalent) [22].

3.4. Determination of vitamin C content

The vitamin C content of the samples was determined using a metaphosphoric acid solution [23]. To 5 g of the samples was added 100 ml of a 3% metaphosphoric acid (Thermo Fischer GmbH, Germany) solution, then it was mixed. It was then washed into a 250 ml volumetric flask and an additional 50 ml of metaphosphoric acid was added. The mixture was filtered through fluted filter paper (Sartorius Stedim Biotech S.A., Gottingen, Germany). 50 ml of the filtrate was pipetted into a titration flask, then 30 ml of distilled water, 5 ml of 2% hydrochloric acid (VWR International S.A.S, France), 5 ml of 1% potassium iodide (Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Germany) and 1 ml of starch indicator (VWR International S.A.S., France) were added. The resulting solution was finally titrated with a 0.004 M potassium iodate (Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Germany) solution. Results are given in mg/100 g.

3.5. Determination of total acid content

Acid content was determined according to the method described by Czipa (2014) [23]. Fresh samples were homogenized, lyophilized samples were pulverized, and then 20 g was weighed into an Erlenmeyer flask and 150 ml of distilled water was added. After thorough stirring, it was heated on a water bath at 85–95 °C for 30 minutes, and then it was allowed to cool to room temperature. The mixture was filtered through cotton wool and then made up to the mark with distilled water in a 250 ml volumetric flask. 25 ml of the resulting filtrate was pipetted out and made up to 100 ml with distilled water ml. Titration was carried out in the presence of a few drops of phenolphthalein indicator with 0.1 M sodium hydroxide (Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Germany). Results are given in %.

3.6. Determination of element content

Sample preparation was performed according to the method of Kovács et al. [24]. During the test, 3 g of the sample was weighed into a 100 ml digestion tube. Concentrated nitric acid (10 ml) was added to the samples, they were allowed to stand overnight, and then were heated at 60 °C for 30 minutes. Following this, hydrogen peroxide (3 ml) was added to the samples and they were heated again at 120 °C for 90 minutes. At the end of this time, the samples were made up to 50 ml with high purity distilled water (Milli-Q water purification system; Millipore SAS, Molsheim, France), and filtered through 388 filter-paper (Sartorius Stedim Biotech S.A., Gottingen, Germany). Element content was measured with an ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer) instrument (Thermo Scientific iCAP 6300, Cambridge, UK). The elements were measured at the following wavelengths: Ca (317.9 nm), K (766.4 nm), Mg (279.5 nm), Na (589.5 nm), P (185.9 nm), S (180.7 nm), Mn (259.3 nm), Zn (213.8 nm). The Rf power of the ICP instrument was set to 1200 W.

3.7. Statistics

Analytical testing of the samples was performed in triplicate in each case. SPSS software (version 13; SPSS Inc. Chicago, Illinois, USA) was used for the evaluation of the results. Using the program, the mean and standard deviation were determined, and then Tukey and Dunnett's T3 test (one-way analysis of variance) was used to determine statistically significant differences between the results.

4. Results

4.1. Dry matter content

Among the fruits we examined, strawberries and sour cherries had the lowest dry matter content (12.6%), while the highest results were obtained for blackberries (16.8%). In order to make the results of the different tests comparable, the values are given on a dry matter basis in each case.

4.2 Total phenolic compounds (TPC)

The total phenolic content of the fresh and lyophilized fruits is summarized in **Figure 1**. Very high values (945-1363 mg GAE/100 g) were obtained for all samples. Higher values were measured for the lyophilized samples than for the fresh fruits. In our opinion, this may be due to the fact that lyophilization for these compounds is a more gentle drying method than using an oven.

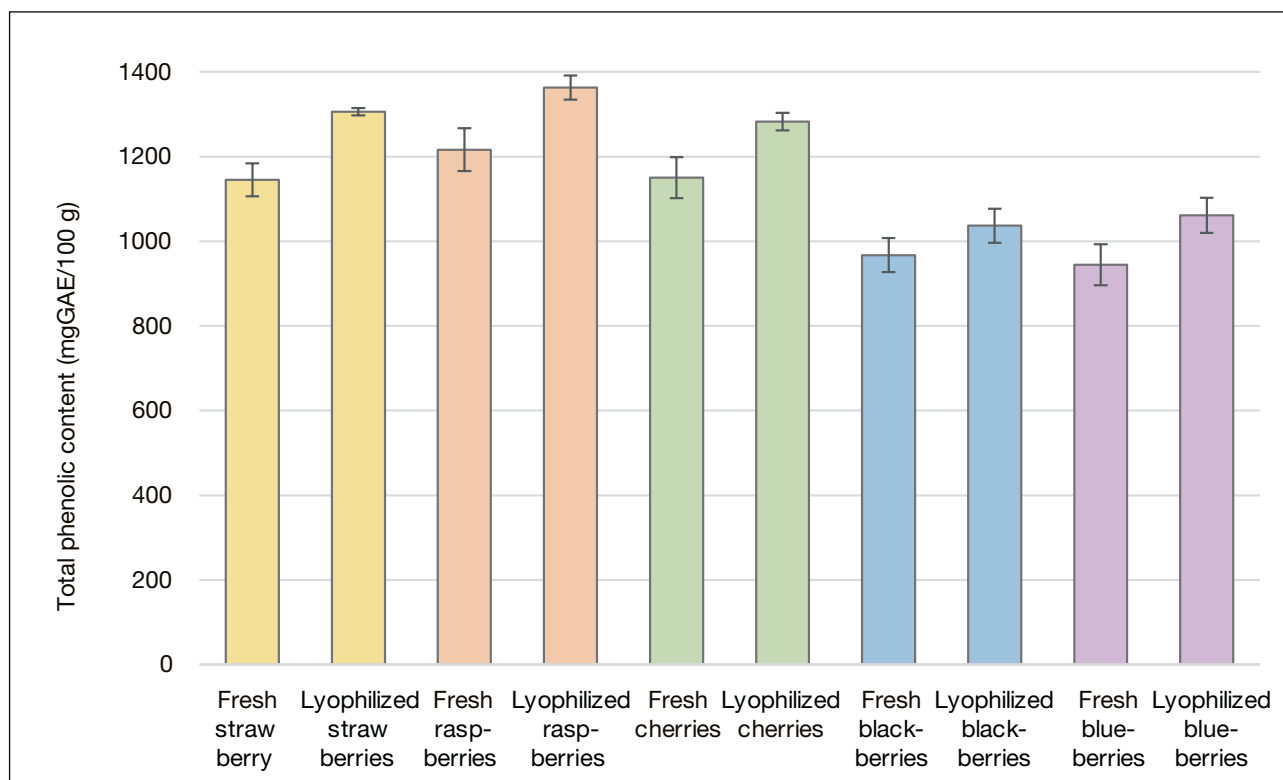


Figure 1. Total phenolic content of fresh and lyophilized fruits

As shown in the figure, there is no significant difference between fresh blackberries (967 mg GAE/100 g) and fresh blueberries (945 mg GAE/100 g). In the case of these fruits, the phenolic content is not significantly higher even after lyophilization (1037-1061 mg GAE/100 g). In contrast, for strawberries, raspberries and sour cherries, values between 1,145 and 1,363 mg GAE/100 g were obtained. No significantly different values were obtained for fresh strawberries and fresh sour cherries (1,145 and 1,150 mg GAE/100 g), and for lyophilized strawberries and lyophilized sour cherries (1,306 and 1,283 mg GAE/100 g). These differences could not be verified statistically.

4.3. Flavonoid content

The flavonoid content of the tested samples is shown in **Figure 2**. It is clear that there is no significant difference between the fresh and lyophilized samples, i.e., lyophilization does not significantly affect the presence of these compounds in the samples. In contrast to the phenolic compounds content, raspberries had the lowest flavonoid content (309-340 mg CE/100 g), while blueberries had the highest values (647-707 mg CE/100 g). In the case of strawberries and blackberries, almost the same results were obtained, and the differences were statistically verifiable in each case.

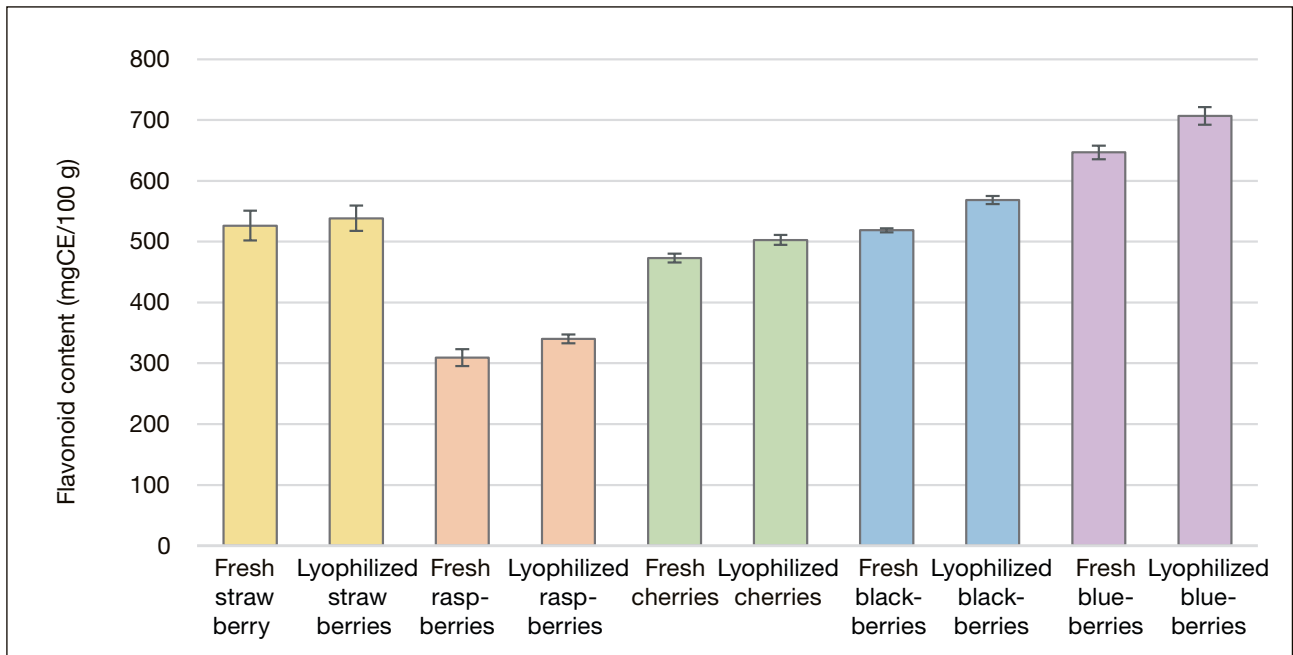


Figure 2. Total flavonoid content of fresh and lyophilized fruits

4.4. Total acid content

The total acid content is shown in **Figure 3**. It can be clearly seen that lyophilization did not have a beneficial effect on these compounds, as significantly lower results were obtained for all samples compared to the fresh fruits. Very high acid contents were measured for fresh raspberries and fresh sour cherries (54.4-54.5%). As a result of lyophilization, these values decreased by two-thirds (16.6-16.7%). In the case of the other fruits, the acid content did not even reach 30%. Statistically verifiable differences were obtained in all cases, except for lyophilized sour cherries and lyophilized raspberries ($P=0.167$).

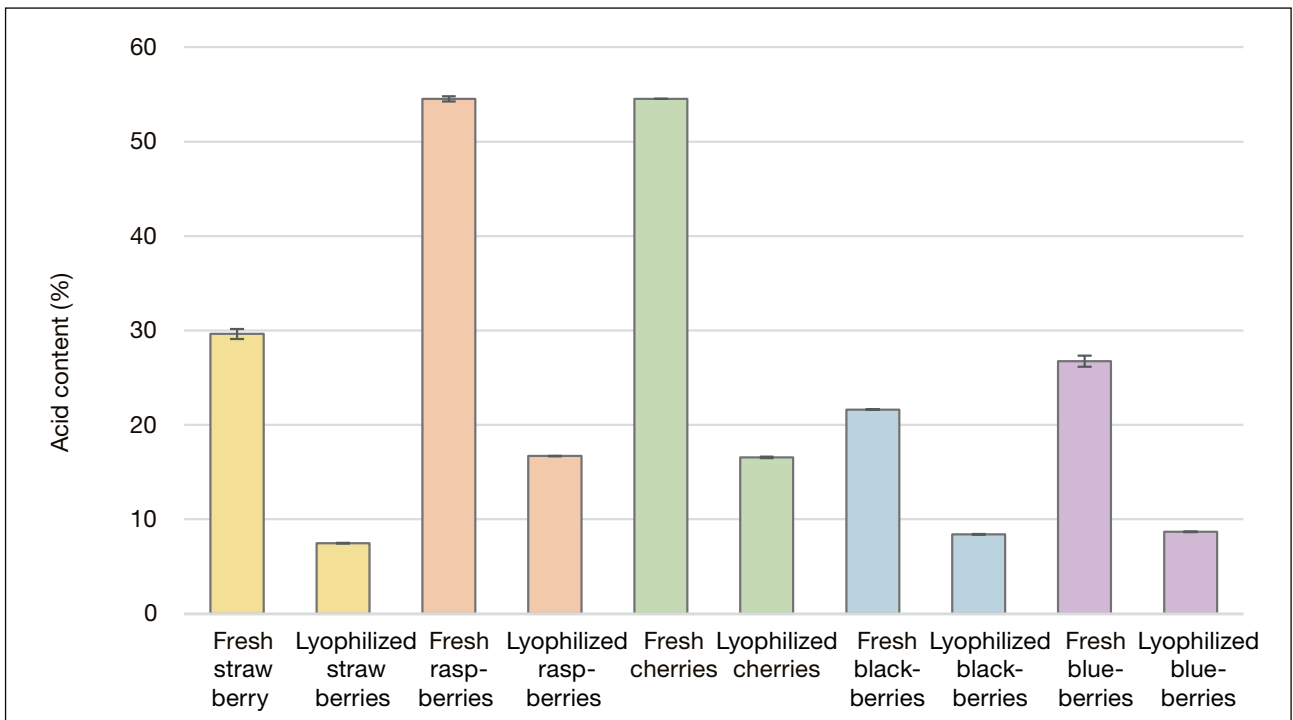


Figure 3. Total acid content of fresh and lyophilized fruits

4.5. Vitamin C content

The vitamin C content of the fruits is shown in **Figure 4**. In this case, lyophilization did not have a large effect on the vitamin C content, since, as shown in the figure, the results after lyophilization were lower for all samples. The highest values (236 and 242 mg/100 g) were obtained for strawberries. Similar results were obtained for raspberries and blackberries (172-199 mg/100 g), and for sour cherries and blueberries (102-128 mg/100 g). Significant results were obtained in almost all cases, except for fresh strawberries with fresh raspberries, fresh raspberries with fresh blackberries, and for fresh sour cherries with fresh blueberries.

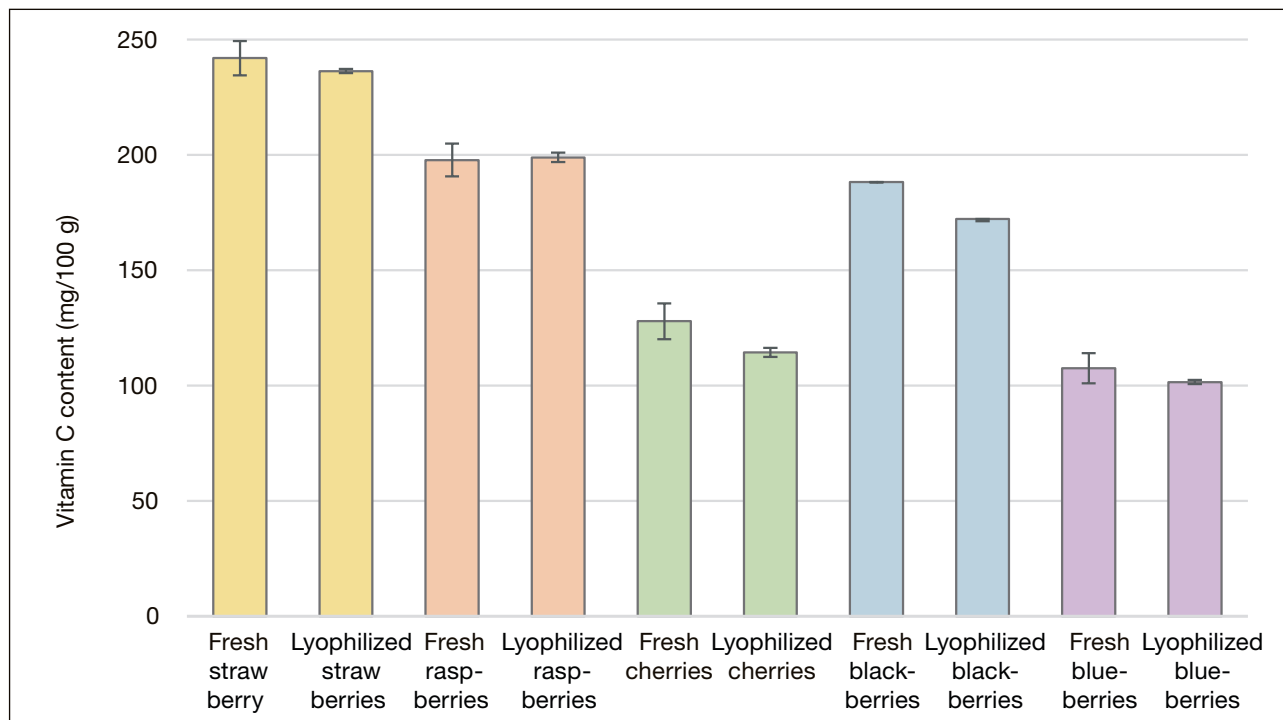


Figure 4. Vitamin C content of fresh and lyophilized fruits

4.6. Element content

The element contents of the samples are shown in **Table 1**. Although several elements were measured, only the most important results are highlighted. The calcium content of the fruits was between 240 and 2302 mg/kg. Among the results, the calcium content of blueberries was extremely low compared to the other samples (240 mg/kg). There was no statistically verifiable difference between strawberries and blackberries ($P=0.096$).

Table 1. Element results of fresh and lyophilized fruits

Sample	Ca (mg/kg)	K (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Na (mg/kg)	P (mg/kg)	S (mg/kg)
Strawberries	2,302±2	12,693±9	1,383±7	22.9±0.5	2,012±2	541±1
Raspberries	1,286±1	6,983±4	1,143±4	4.47±0.01	2,024±3	500±1
Sour cherries	1,458±2	9,521±13	945±1	4.24±0.01	1,677±3	533±0
Blackberries	1,956±8	6,582±22	1,225±8	23.1±0.2	1,806±5	695±2
Blueberries	240±1	3,765±7	195±2	5.15±0.14	863±2	445±1

The potassium content was highest in the case of strawberries (12,693 mg/kg). In contrast, blueberries have an extremely low potassium content of 3,765 mg/kg. Values between 6,582 and 9,521 mg/kg were obtained for the other samples. The differences were statistically verifiable in all cases. The magnesium content of the fruits was between 195 and 1,383 mg/kg. Once again, blueberries exhibited an extremely low value of 195 mg/kg. At the same time, the magnesium content of strawberries was 1,383 mg/kg. Significant differences were obtained in almost all cases, with the exception of strawberries-raspberries and sour cherries-raspberries. The sodium content values of the fruits was between 5.15 and 23.1 mg/kg. Compared to the other samples, the sodium content of strawberries and blackberries was very high (22.9 and 23.1 mg/kg). Phosphorus content results were between 863 and 2,024 mg/kg. Similarly to calcium, potassium and magnesium, blueberries had the lowest result for phosphorus (863 mg/kg) as well. Significant results were obtained for all samples. In the case of sulfur, values between 445 and 695 mg/kg were measured.

The lowest result was obtained for blueberries, while the highest was obtained for blackberries. Significant results were obtained in all cases except for blueberries-strawberries-sour cherries [25].

4.7. Conclusions

The nutritional parameters of different red fruits were examined. Our aim was to compare the examined parameters (total phenolic content, flavonoid, acid and vitamin C content) in the fresh state of the fruits and after lyophilization. In addition, the major element contents (calcium, potassium, magnesium, sodium, phosphorus, sulfur) of the fresh samples were also determined. In terms of the total phenolic content and the flavonoid content, higher results were obtained for all fruits after lyophilization. The reason for this may be that lyophilization does not have as adverse an effect on these compounds as the use of a drying oven. Positive results were also obtained for vitamin C. The presence of this vitamin was slightly reduced in these samples by lyophilization. In contrast, much lower acid content results were obtained after lyophilization. In terms of their element content, blueberries had the lowest values, while the highest values were obtained in the case of strawberries. Based on the results obtained, it can be stated that in the case of the parameters examined (except for the acid content), freeze drying, also known as lyophilization, is a much more gentle drying method than the use of an oven.

5. References

- [1] Fu L., Xu B.-T., Xu X.-R., Gan R.-Y., Zhang Y., Xi E.-Q., & Li H.-B. (2011): Antioxidant capacities and total phenolic contents of 62 fruits. *Food Chemistry* **129** (2) 345–350. pp. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.04.079>
- [2] Imeh U., Khokhar S. (2002): Distribution of Conjugated and Free Phenols in Fruits: Antioxidant Activity and Cultivar Variations. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **50** (22) 6301–6306. pp. <https://doi.org/10.1021/jf020342j>
- [3] de Souza V. R., Pereira P. A. P., da Silva, T. L. T., de Oliveira Lima L. C., Pio R., Queiroz F. (2014): Determination of the bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Brazilian blackberry, red raspberry, strawberry, blueberry and sweet cherry fruits. *Food Chemistry* **156** 362–368. pp.
- [4] Denardin C. C., Hirsch G. E., da Rocha R. F., Vizzotto M., Henriques A. T., Moreira J. C. F., Emanuelli T. (2015): Antioxidant capacity and bioactive compounds of four Brazilian native fruits. *Journal of Food and Drug Analysis* **23** (3) 387–398. pp. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2015.01.006>
- [5] Moo-Huchin V. M., Moo-Huchin M. I., Estrada-León R. J., Cuevas-Glory L., Estrada-Mota I. A., Ortiz-Vázquez E., Sauri-Duch E. (2015): Antioxidant compounds, antioxidant activity and phenolic content in peel from three tropical fruits from Yucatan, Mexico. *Food Chemistry* **166** 17–22. pp. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.127>
- [6] Yildiz H., Ercisli S., Hegedus A., Akbulut M., Topdas E. F., Aliman J. (2014): Bioactive content and antioxidant characteristics of wild (*Fragaria vesca* L.) and cultivated strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) fruits from Turkey. *Journal of Applied Botany and Food Quality* **87** 274–278. pp. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2014.087.038>
- [7] Slatnar A., Jakopic J., Stampar F., Veberic R., Jamnik P., (2012): The Effect of Bioactive Compounds on In Vitro and In Vivo Antioxidant Activity of Different Berry Juices. *PLoS ONE* **7** (10) 1–8. pp.
- [8] Namiesnik J., Vearasilp K., Nemirovski A., Leontowicz H., Leontowicz M., Pasko P., Martinez-Ayala A.L., González-Aguilar G.A., Suhaj M., Gorinstein S. (2014): In vitro studies on the relationship between the antioxidant activities of some berry extracts and their binding properties to serum albumin. *Applied Biochemistry and Biotechnology* **172** 2849–2865. pp.
- [9] Baiano A. (2014): Influence of genotype, pedoclimatic conditions, viticultural practices and ripening on the phenolic composition of grapes. A review. In J. S. Cámara (Ed.), *Grapes: Production, phenolic composition and potential biomedical effects. Food and Beverage Consumption and Health Series. New York, NY: Nova Science* 1–26. pp. ISBN: 978-1-63321-410-1
- [10] Lutz M., Hernández J., Henríquez C. (2015): Phenolic content and antioxidant capacity in fresh and dry fruits and vegetables grown in Chile. *CyTA - Journal of Food. Taylor & Francis*. 1–7. pp.
- [11] Aly A., Maraai R., El-Leel O. A. (2019): Comparative study of some bioactive compounds and their antioxidant activity of some berry types. *Slovak Journal of Food Sciences. Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences* **13** (1) 515–523. pp. <https://doi.org/10.5219/1132>

- [12] Lachowicz S., Kolniak-Ostek J., Oszmianski J., Wisniewski R. (2017): Comparison of phenolic content and antioxidant capacity of bear garlic (*Allium ursinum* L.) in different maturity stages. *Journal Food Processing and Preservation* **41** (1) 1–10. pp.
<https://doi.org/10.1111/jfpp.12921>
- [13] Toledo-Martín E., García-García M., Font R., Moreno-Rojas J., Salinas-Navarro M., Gómez P., del Río-Celestino M. (2018): Quantification of Total Phenolic and Carotenoid Content in Blackberries (*Rubus Fruticosus* L.) Using Near Infrared Spectroscopy (NIRS) and Multivariate Analysis. *Molecules* **23** (12) 3191. p.
<https://doi.org/10.3390/molecules23123191>
- [14] Zapata, P. J., Martínez-Esplá, A., Gironés-Vilaplana, A., Santos-Lax, D., Noguera-Artiaga, L., Carbonell-Barrachina, Á. A. (2019): Phenolic, volatile, and sensory profiles of beer enriched by macerating quince fruits. *LWT – Food Science and Technology* **103** 139–146. pp.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.01.002>
- [15] Oliveira K. G., Queiroz V. A. V., Carlos L. A., Cardoso L. M., Pinheiro-Sant’Ana H. M., Anunciacao P. C., Menezes C. B., Silva E. C., Barros F. (2017): Effect of the storage time and temperature on phenolic compounds from sorghum grain and flour. *Food Chemistry* **216** 390–398. pp.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.047>
- [16] Rekha C., Poornima G., Manasa M., Abhipsa V., Pavithra Devi J., Vijay Kumar H. T., Prashith Kekuda T. R. (2012): Ascorbic acid, total phenol content and antioxidant activity of fresh juices of four ripe and unripe citrus fruits. *Chem Sci Trans.* **1** (2) 303–310. pp.
<https://doi.org/10.7598/cst2012.182>
- [17] Nour V., Trandafir I., Ionica M. E. (2011): Ascorbic acid, anthocyanins, organic acids and mineral content of some black and red currant cultivars. *Fruits* **66** 353–362. pp.
<https://doi.org/10.1051/fruits/2011049>
- [18] Plessi M., Bertelli D., Albasini A., (2007): Distribution of metals and phenolic compounds as a criterion to evaluate variety of berries and related jams, *Food Chemistry* **100** 419–427. pp.
- [19] Nile, S. H., & Park, S. W. (2014). Edible berries: Bioactive components and their effect on human health. *Nutrition* **30** (2) 134–144. pp.
<https://doi.org/10.1016/j.nut.2013.04.007>
- [20] Rodler I. 2008. Élelmezés- és táplálkozás-egészségtan. *Medicina Könyvkiadó*, Budapest.
- [21] Singleton, V. L., Orthofer, R., Lamuela Raventos, R. M. (1999): Analysis of Total Phenols and Other Oxidation Substrates and Antioxidants by Means of Folin Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology* **299** 265–275. pp.
- [22] Kim, D.O, Jeong, S.W., Lee, C.Y. (2003): Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums. *Food Chemistry* **81** 321–326. pp.
- [23] Czipa, N. (2014): Élelmszeranalitika gyakorlati jegyzet élelmszermérnök BSc III. évfolyam részére. *Debreceni Egyetem*, Debrecen.
- [24] Kovács, B., Győri, Z., Csapó, J., Loch, J., Dániel, P. (1996): A study of plant sample preparation and inductively coupled plasma emission spectrometry parameters. *Communication in Soil Science and Plant Analysis* **27** (5-8) 1177–1198. pp.
- [25] Słupski, J., Lisiewska, Z., Kmiecik, W. (2005): Contents of macro and microelements in fresh and frozen dill (*Anethum graveolens* L.). *Food Chemistry* **91** (4) 737–743. pp.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.06.046>

Szárított bazsalikkal dúsított kenyerek vizsgálata és eredményeinek értékelése

Kulcsszavak: kenyér, bazsalikom, összes polifenol tartalom (TPC – Total Polyphenol Content), flavonoid tartalom, elemtartalom, funkcionális élelmiszer

1. ÖSSZEFOGLALÁS

Úgy a kenyér, mint a fűszerek fontos szerepet játszanak a mindennapi táplálkozásunkban. A bazsalikom egy rendkívül kedvelt fűszer, melynek jótékony hatásai már régóta ismertek. Ezért is végeztük el a kenyerek kereskedelmi forgalomban kapható szárított bazsalikkal való dúsítását. A bazsalikom esetében meghatároztuk annak antioxidáns hatású vegyület-, valamint elemtartalmát. E paraméterek tekintetében kiemelkedően előnyös tulajdonságokra utaló eredményeket kaptunk. A dúsítás során 6 különböző koncentrációt alkalmaztunk, valamint egy kontroll mintát készítettünk, amely nem tartalmazott bazsalikomot. A fűszer mennyiségének növelésével a kenyerekben nőtt az összes polifenol (TPC – Total Polyphenol Content)-, flavonoid- és makroelem tartalom. A nyerszsír tartalomban nem tapasztaltunk eltérést a termékek között. A fehérjetartalom esetében minimális növekedést mértünk a fűszer koncentrációjának növelésével.

¹ Debreceni Egyetem, Élelmiszertudományi Intézet

2. Bevezetés

A bazsalikomot leginkább a mediterrán országokban termesztik. Leveleit frissen vagy szárítva ízesítőként használják. Gyógynövényként is ismert, többek között fejfájás, köhögés, hasmenés, székrekedés, szemölcsök, férgek és veseműködési zavarok ellen ajánlott a fogyasztása [1]. Antioxidáns hatásáért a benne található rozmarinsav felelős, mely megköti a szabadgyököket. A gombák ellen nem használható, azonban antibakteriális és vírusellenes hatása ismert [2]. Elemtartalom szempontjából kiemelkedő értékekkel rendelkezik, melyet többek között Ghanjaoui és munkatársai [1], Özcan és Akbulut [3] valamint Özcan [4] is vizsgált.

A sütés az emberiség egyik legrégebbi, az ételkészítéssel kapcsolatos foglalkozása. Amikor az őskori ember letelepedett és gyűjtögetésre, gazdálkodásra váltott, a gabonafélék váltak a legfontosabb élelmi forrásokká. Folyamatos tanulás és technológiai fejlesztés mellett, sikerült az összegyűjtött magvakat feldolgozni, belőlük különböző termékeket készíteni [5]. Ilyen termék volt a kenyér, amely nagyban különbözött attól a terméktől, amit napjainkban fogyasztanak. Mindazonáltal napjainkban is sokféle típusú kenyeret készítenek. A Közel-Keleten a lapos kenyér, Kínában a gőzölt kenyér, Amerikában pedig a kukorica alapú termékek dominálnak. A kenyér leginkább búzából és néhány más, általánosan használt gabonából készül, hiszen ennek fehérjei a legalkalmasabbak arra, hogy a megfelelő termék készüljön belőlük [6].

A szakirodalomban található dolgozatok szerint számos kísérlet történt a kenyér dúsítására különböző anyagokkal. Raba és munkatársai [7] fokhagymával és bazsalikkal dúsított kenyeret készítettek és vizsgáltak. Suleria és munkatársai [8] vizes fokhagymakivonatot használtak, azonban készültek még sárgapaprika liszttel [9], gyömbérporral [10], kurkumával [11], hulladék hagymaporral [12], barna algaporral [13], lóretékfa levélporral [14], málna és eper olajpogácsával [15] valamint fokhagymával és készítményeivel [16] dúsított kenyerek is.

Mivel ismereteink szerint fűszerekkel kevés kenyérdúsítási kísérletet és az követően szintén kevés vizsgálatot végeztek, kísérletünkben elsőként bazsalikomot használtunk, és azt vizsgáltuk, hogy a fűszer hozzáadása milyen mérhető változásokat idézett elő a sült termékben.

3. Anyag és módszer

3.1. A kenyér elkészítése

Kísérleteink során 7 kenyérminta különböző paramétereit vizsgáltuk. A kenyerek összetevői és elkészítése Kántor és munkatársai [16] módszere alapján történt. A termék elkészítéséhez használt összetevőket a kiskereskedelemből szereztük be. A bazsalikomot a dagasztás előtt rendre 0,00; 4,25 g; 8,5 g; 12,75 g; 17,0 g; 21,25 g és 25,5 g mennyiségben adtuk a kenyér tészájához (**1. táblázat**).

1. táblázat. A vizsgált kenyerek elnevezése és azok bazsalikom tartalma

Jelölés	A kenyérhez használt fűszer mennyisége (g)
1	0
2	4,25
3	8,50
4	12,75
5	17,0
6	21,25
7	25,5

A kísérlet során a bazsalikom összes polifenol- (TPC), flavonoid- és elemtartalmát vizsgáltuk, majd a kenyerekből meghatároztuk a szárazanyag-, összes polifenol (TPC), flavonoid-, nyerszsír-, nyersfehérje- és makroelem-tartalmat. A kenyér eredményeinél a mért értékeket szárazanyag tartalomra vonatkoztatva adtuk meg.

3.2. Az összes polifenol-tartalom (TPC) meghatározása

A vizsgálathoz a bazsalikom, és a kenyerek esetében egyaránt Singleton és munkatársai módszerét [17] alkalmaztuk. A vizsgálatnál a mintákat metanolos (Scharlab S. L., Spain): desztillált vízben (80:20) áztattuk, majd 292-es redős szűrőpapíron (Sartorius Stedim Biotech S.A., Gottingen, Germany) szűrtük. A kapott oldatokból 1 ml mintát kémcsőbe pipettáztunk, melyhez 2,5 ml Folin-Ciocalteu reagenst (VWR International S.A.S., France) adtunk. 5 perc elteltével további 2 ml 75 g/l-es koncentrációjú nátrium-karbonát (Scharlab S. L., Spain) hozzáadásával színes vegyületet kaptunk, melynek abszorbanációját spektrofotométerrel

(Evolution 300 LC, Thermo Electron Corporation, England) mértük 760 nm-en. Az összes polifenol-tartalom meghatározásához kalibráló oldatot készítettünk, melynél a törzsoldat galluszsavból (Alfa Aesar GmbH&Co. KG, Karlsruhe, Germany) készült. A kalibráló oldatsor abszorbanciáját is mértük, mely eredményekből kalibráló görbét szerkesztettünk. Ez alapján határoztuk meg a mintaoldatunk összes polifenol-tartalmát. Az eredményt mgGAE/100 g-ban kaptuk meg.

3.3. A flavonoid tartalom meghatározása

A flavonoid-tartalom vizsgálati eredményeit a fűszerben és a kenyerekben mg catechin ekvivalens per 100 g-ban adtuk meg (mgCE/100 g). A hozzáadott reagensek hatására az oldatok rózsaszínűek lettek. Az abszorbanciákat 510 nm-en mértük spektrofotométerrel (Evolution 300 LC, Thermo Electron Corporation, England). Az alábbi reagenseket használtuk a vizsgálathoz: catechin (Cayman Chemical Company, USA), alumínium-klorid (Scharlab S.L., Spain), nátrium-nitrit (Scharlau Chemie S.A., Spain), nátrium-hidroxid (Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Germany) és metanol (Scharlab S.L., Spain) [18].

3.4. Az elemtartalom meghatározása

A mintákat Kovács és munkatársai [19] módszerével készítettük elő, az ICP-OES-sel történő mérés előtt (induktív csatolású plazma optika emissziós spectrometer; Thermo Scientific iCAP 6300, Cambridge, UK). A mintákat roncsolócsőbe tettük, majd 10 ml salétomsavat (69% v/v, VWR International Ltd., Radnor, USA) töltöttünk a csövekbe. A keverékeket egy éjszakán át állni hagyjuk, majd másnap előroncsolást végeztünk 60 °C-on 30 percig. Lehűlés után a mintákhoz 3 ml hidrogén-peroxidot (30% v/v, VWR International Ltd., Radnor, USA) adtunk, és 120 °C-on, 90 percig végeztük a főroncsolást. Ennek végeztével a kihűlt mintákat Milli-Q desztillált vízzel (Millipore S.A.S., Molsheim, France) hígítottuk és 388-as szűrőpapíron (Sartorius Stedim Biotech S.A., Göttingen, Germany) szűrtük. Az így elkészült roncsolatokból az ICP-OES-sel az alábbi elemtartalmakat határoztuk meg:

- Ca 315.8 nm,
- K 769.8 nm,
- Mg 280.2 nm,
- Na 818.3 nm,
- P 185.9 nm,
- S 180.7 nm.

A mérési hullámhosszakot az elemek vegyjelei után tüntettük fel.

3.5. A szárazanyag-, nyerszír-, és nyersfehérjetartalom meghatározása

A kenyerek vizsgálata ezekre a paraméterekre az MSZ 20501-1:2007-es szabvány alapján történt [22].

3.6. Statisztika

A vizsgálatokat három ismétlésben végeztük el. Az eredmények értékeléséhez az SPSS statisztikai szoftvert használtuk (version 13; SPSS Inc. Chicago, Illinois, USA). Ezzel határoztuk meg az átlagot és a szórást. A kapott eredmények közötti statisztikailag igazolható különbségek meghatározására egytényezős varianciaanalízist (Tukey és Dunnett's T3 teszt; $P < 0,05$) alkalmaztunk.

4. Eredmények és értékelésük

4.1. A bazsalikom vizsgálatának eredményei

A bazsalikom vizsgálatának átlageredményeit a **2. táblázat** tartalmazza. Ez a táblázat tartalmazza a fűszer összes polifenol-, flavonoid- és elemtartalmát, amelyeket három ismétléses méréssel határoztunk meg.

2. táblázat. A bazsalikom mérési eredményei

TPC mgGAE/100g	Flavonoid mgCE/100 g	Ca mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	Na mg/kg	P mg/kg	S mg/kg
512±19	947±49	21389±871	26862±590	7650±372	695±18	3816±88	2596±77

A bazsalikom összes polifenol-tartalmának értékei magasabbak voltak, mint a Moghaddam és Mehdizadeh [20] tanulmányában közölt mennyiségek (7,15-107 mgGAE/100 g). Ugyanakkor Kwee és Niemeyer [21] értekezésében, amelyben 15 bazsalikomfajta vizsgálatáról számoltak be, az összes polifenol-tartalom 347 és 1758 mgGAE/100 g között volt. Eredményeink alapján megállapítható, hogy az általunk mért érték magas volt. A bazsalikom esetében kiemelkedő flavonoid tartalommal is számolni kell.

Méréseink alapján a fűszernek leginkább a kalcium- és káliumtartalma magas, amelynek értéke 20000 mg/kg fölött volt. Özcan [4] hasonló káliumtartalmat mért a szárított bazsalikom esetében (24811 mg/kg), azonban a kalciumtartalom jóval alacsonyabb volt az általunk meghatározott koncentrációkhoz képest (12363 mg/kg). A növény magnéziumtartalma sem elhanyagolható, hiszen ebből az alkáliföldfém-ből közel 8000 mg/kg-os értéket mértünk. Ez jóval magasabb, mint az Özcan [4] és Özcan és Akbulut [3] által mért eredmények (5738 mg/kg és 3130 mg/kg). A foszfor- és kén-tartalom vizsgálatának eredményei szintén ezres nagyságrendűek voltak az adott mintában. Özcan [4] magasabb P (4960 mg/kg) és alacsonyabb S (1923 mg/kg) tartalmat mért a török eredetű szárított bazsalikomban. A makroelemek közül az Özcan és Akbulut [3] által közölt értékekhez (2895 mg/kg) képest a nátrium mennyiségét találtuk a legkisebbnek.

4.2. A kenyerek vizsgálatának eredményei

A kenyerek beltartalmi mérésének eredményeit a **3. táblázat** tartalmazza.

3. táblázat. A kenyerek beltartalmi eredményei szárazanyag tartalomra vonatkoztatva

Minta sorszám	Szárazanyag (%)	TPC mgGAE/100 g	Flavonoid mgCE/100 g	Nyerszsír (%)	Nyersfehérje (%)
1	69,5±0,2	37,8±0,1	26,0±1,7	6,33±0,21	12,4±0,1
2	69,7±0,1	52,8±1,5	29,1±1,1	5,60±0,10	12,8±0,1
3	69,1±0,1	59,7±0,3	38,7±1,9	5,73±0,31	12,8±0,3
4	68,3±0,1	71,4±0,2	46,4±0,9	5,10±0,26	12,9±0,1
5	68,6±0,1	77,7±1,6	53,2±1,4	5,10±0,26	13,4±0,1
6	70,5±0,1	91,5±0,1	59,4±0,9	5,10±0,85	13,6±0,0
7	69,7±0,1	106±1	70,1±1,1	5,90±0,10	13,2±0,0

4.2.1. A szárazanyag-tartalom mérésének eredményei

A kenyérminták szárazanyag-tartalmát egymáshoz hasonlóan találtuk. A minták szárazanyag tartalma 68,3% és 70,5% között volt. A legalacsonyabb értéke a 4. mintának volt, míg a legnagyobbat a 6-os termék esetében mértük. Hasonló eredményeket mértünk az 1., 2. és 7. mintáknál. Ezen értékeknél statisztikailag igazolható eltérést nem találtunk. A többi mintához képest az előbb említett kenyerek eredményei azonban szignifikánsan különbözőek voltak. A legnagyobb szárazanyag tartalommal rendelkező minta, mely a 6-os volt, szignifikánsan az összes mintától eltért. Közel azonos értékeket mértünk még a 4-5 és 3-5 kenyerek szárazanyag tartalmában.

4.2.2. Az összes polifenol-tartalom mérésének eredményei

Az összes polifenol-tartalmat tekintve megállapítottuk, hogy már a kontroll kenyér is tartalmaz bizonyos mennyiségű antioxidáns hatású vegyületet, amelynek mennyisége értelemszerűen a legalacsonyabbnak adódott. Kántor és munkatársai [16] szintén találtak antioxidáns hatású vegyületeket a kontroll kenyér esetében. Ahogy a fűszereket hozzáadtuk a kenyerekhez, az antioxidánsok mennyisége folyamatosan növekedett. A legnagyobb mennyiséget a 7. minta esetében mértük. Valamennyi minta vizsgálati eredményei egymáshoz képest szignifikáns eltérést mutattak.

4.2.3. Az összes flavonoid-tartalom mérésének eredményei

A flavonoidok mennyisége a polifenol-tartalomhoz hasonlóan arányosan nőtt a kenyértészta-hoz adott fűszer mennyiségével. A legalacsonyabb értéket a kontroll mintából mértük, amelytől a 2. minta flavonoid tartalma statisztikailag nem tért el, azonban minden más esetben szignifikáns eltérést tapasztaltunk. A legmagasabb flavonoid tartalommal a 7. minta rendelkezett, melynek fűszertartalma 25,5 g volt.

4.2.4. A nyerszsír-tartalom mérésének eredményei

A nyerszsír tartalmat tekintve az eredmények eltérőek voltak. 5,10 és 6,33% közötti értékeket mértünk. A legmagasabb zsírtartalmat a kontroll mintában határoztuk meg, míg a legalacsonyabb értékek a 4., 5. és 6. mintában voltak. A 2. és 3. termék esetében csupán csak 0,1% volt az eltérés. A 7. kenyérmintánál az utóbbi eredményektől magasabb, azonban az 1. mintát meg nem haladó zsírtartalmat mértünk. Ezen eredmények egyike sem tért el egymástól statisztikailag igazolhatóan, tehát ennél a paraméternél megállapítottuk, hogy zsírtartalomban az általunk készített kenyerek között nem volt statisztikailag igazolható különbség.

4.2.5. A fehérjetartalom mérésének eredményei

A fehérjetartalmat vizsgálva egymástól eltérő értékeket mértünk. A legnagyobb értéket a 6. minta esetében mértük, míg a legalacsonyabb az 1., kontroll minta adta. A bazsalikom hozzáadásával minimális fehérjetartalomnövekedést láthatunk. Az első 3 minta esetében statisztikailag igazolható különbség nem volt, azonban a kontroll mintánk eredménye eltérő a 4., 5., 6. és 7. minta értékétől. A legmagasabb fehérjetartalommal rendelkező minták (5. és 6.) szignifikáns eltérést mutattak az 1., 2., 3. és 4. mintáktól. A legnagyobb fűszermennyiséggel dúsított kenyér fehérjetartalma csupán az 1. és 3. mintától tért el, ugyanis ebben az esetben csökkent a termék fehérjetartalma.

4.2.6. A makroelemtartalom mérésének eredményei

A kenyerek makroelemtartalmának eredményeit az **4. táblázatban** foglaltuk össze.

4. táblázat. A kenyérminták makroelemtartalma szárazanyagra vonatkoztatva

Minták sorszáma	Ca mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	Na mg/kg	P mg/kg	S mg/kg
1	476±15	2200±37	260±9	2585±60	1478±26	1008±19
2	682±64	2400±84	328±22	2532±109	1494±54	1033±79
3	886±17	2589±17	394±7	2503±46	1518±13	1066±33
4	1087±52	2868±81	471±14	2546±85	1575±38	1104±47
5	1232±36	3009±50	536±10	2459±59	1619±25	1140±40
6	1391±53	3127±12	585±13	2395±14	1623±14	1138±29
7	1614±33	3408±28	650±10	2523±39	1616±14	1154±20

A kontroll kenyér esetében (1. minta) makroelemtartalom eredményeink a nátrium kivételével hasonlóak voltak a Kántor és munkatársai [16] által közölt adatokhoz (Ca: 510 mg/kg; K: 2418 mg/kg; Mg: 285 mg/kg; Na: 3180 mg/kg; P: 1512 mg/kg; S: 948 mg/kg).

A mintákban mérhető makroelemek mennyiségét tekintve megállapítottuk, hogy minden esetben növekszik azok mennyisége a fűszer koncentrációjának növelésével. Ez alól kivételt jelent a nátrium és a kén, hiszen bár minimálisan eltérő eredményeket kaptunk, azonban ez a különbség statisztikailag nem igazolható. A bazsalikom eredményeiből látható, hogy ez a két elem az, amelyeknek a növényben a legalacsonyabb a mennyisége. Amíg a kenyérben a kalcium, kálium, magnézium, foszfor és kén mennyisége alacsonyabb értéket mutatott, mint magában a fűszerben, addig a nátriumtartalom jelentősen megnövekedett a mintákhoz azonos mennyiségben hozzáadott konyhasó miatt.

A minták kalciumtartalma 476 és 1614 mg/kg között változott. A bazsalikom hozzáadásával a kalcium tartalom fokozatosan emelkedett, a legtöbb esetben 200 mg/kg mennyiséggel az egyes koncentrációk között. Szignifikáns eltérés csak a 4. és 5. minta között nem volt kimutatható.

A kenyér káliumtartalmát meghatározva a kalciumtól magasabb értékeket mértünk. A kontroll mintához képest, mely 2200 mg/kg káliumot tartalmazott, már a legkisebb fűszermennyiséget tartalmazó termék is szignifikáns eltérést mutatott. A legnagyobb elemtartalmat a 7. mintánál értük el, mely az 1. mintához képest több mint 1200 mg/kg-al több káliumot tartalmazott. A 4-es és 5-ös, valamint az 5-ös és 6-os minták között statisztikailag igazolható különbség nem volt, azonban az összes többi esetben szignifikáns eltérés volt.

A magnéziumtartalom is növekedett, ahogyan azt az eredmények is mutatják. A legalacsonyabb értéke szintén a kontroll mintának volt, a legmagasabb pedig a 7. terméknek. Ezen elemnél mértük a legalacsonyabb értékeket, makroelem tartalom szempontjából, hiszen még a legmagasabb bazsalikom mennyiséget tartalmazó kenyér sem érte el az 1000 mg/kg-os értéket. Az eredményeink alapján elmondható, hogy minden esetben statisztikailag igazolható különbség volt a mért értékek között.

A foszfortartalom a vizsgált mintákban 1478 és 1623 mg/kg között volt. Ezeket az eredményeket rendre az 1. és 6. mintában mértük. A fűszer mennyiség növelésével a foszfortartalom is nőtt. Statisztikailag igazolható különbség volt kimutatható az 1-5., 1-6., 1-7., 2-5., 2-6., 2-7. és 3-6. termékek között. A többi esetben elhanyagolható mértékű volt az eltérés a foszfortartalomban.

5. Következtetés

A kísérlet megkezdésekor magát a bazsalikomot vizsgáltuk, melynek antioxidáns hatású vegyületeit és makroelem tartalmát határoztuk meg. Ahogyan az eredmények is mutatják, maga a fűszernövény igen magas összes polifenol és flavonoid tartalommal rendelkezik. Ezen paraméterek mellett a makroelem tartalma is jelentős, hiszen kalcium és kálium tartalomban kiemelkedő, melyet a szakirodalomban említett tanulmányok is alátámasztanak. Nem elhanyagolható mennyiségben mértünk még magnézium, foszfor és kén tartalmat.

A kenyerek elkészítése során, a fűszert kivéve, minden összetevő azonos mennyiségben került a termékbe, tehát várható volt, hogy eltérések lesznek a bazsalikom mennyiségének növekedésével.

Egyértelmű következtetést arra, hogy a szárazanyag tartalom miatt változott így, nem tudunk felállítani. A várt eredmény az lett volna, hogy a fűszer mennyiségének növekedésével, növekszik maga a kenyér szárazanyag tartalma. Az eltérések valószínűleg a légkeveréses kemence jellegéből adódhattak.

Mind az összes polifenol- és flavonoid tartalom eredményei a várakozásunknak megfelelően alakultak, hiszen a magas antioxidáns hatású vegyülettel rendelkező bazsalikom, kenyérhez való hozzáadása jelentősen megnövelte ezen paraméterek értékeit, annak ellenére, hogy ezen vegyületek többsége hőérzékeny.

A vizsgált minták nyerszsír tartalmában nem tapasztaltunk eltérést, tehát a dúsítás nem befolyásolja ezt a paramétert.

A fehérjetartalomban azonban már eltéréseket tapasztaltunk, hiszen a dúsításnak köszönhetően a fehérjetartalomban is növekedést értünk el. A kérdés megválaszolásához, hogy miért nőtt ez az érték, további vizsgálatok szükségesek.

A makroelem tartalom esetében a nátrium és a kén kivételével szignifikáns növekedést értünk el, mely a bazsalikom magas elemtartalmából adódhat.

Vizsgálataink és eredményeink alapján elmondható, hogy a bazsalikommal való dúsítás a legtöbb mért paraméterre pozitív hatású volt. Az antioxidáns hatású vegyületek és a makroelemek nagyobb mennyiségű bevitele a szervezetbe szintén előnyös, hiszen ezek a vegyületek a szervezet normál működéséhez szükségesek.

6. Irodalom

- [1] Ghanjaoui M. E., Cervera M. L., Rhazi M. E., M. de la Guardia (2011): Validated fast procedure for trace element determination in basil powder. *Food Chem.* 125 (4) pp. 309-1313. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.09.091>
- [2] Pushpangadan P., George V. (2012): Basil. pp. 55-72 In: Peter K.V. (ed) *Handbook of herbs and spices, Second Edition. Volume 1.* Woodhead Publishing, Cambridge <https://doi.org/10.1533/9780857095671.55>
- [3] Özcan M. M., Akbulut M. (2007): Estimation of minerals, nitrate and nitrite contents of medicinal and aromatic plants used as spices, condiments and herbal tea. *Food Chem.* 106 (2) pp. 852-858. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.06.045>
- [4] Özcan M. (2004): Mineral contents of some plants used as condiments in Turkey. *Food Chem.* 84 (3) pp.437-440. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00263-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00263-2)
- [5] Gisslen W. (2016): *Professional Baking. Seventh Edition.* John Wiley & Sons Inc. USA. p.792.
- [6] Cauvain S. P. (2015): *Technology of Breadmaking. Third Edition.* Springer International Publishing. Switzerland. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-14687-4>
- [7] Raba D. N., Moigrădean D., Poiană M.-A., Popa M., Jianu I. (2007): Antioxidant capacity and polyphenols content for garlic and basil flavoured bread. *J. Agroaliment. Proc. Technol.* 13 (1) pp.163-168.
- [8] Suleria H. A. R., Khalid N., Sultan S., Raza A., Muhammad A., Abbas M. (2015): Functional and Nutraceutical Bread prepared by using Aqueous Garlic Extract. *Int. J. Food Safety.* 17 pp. 10-20.
- [9] Danza A., Mastromatteo M., Cozzolino F., Lecce L., Lampignano V., Laverse J., Nobile M. A. D. (2014): Processing and characterization of durum wheat bread enriched with antioxidant from yellow pepper flour. *LWT Food Sci. Technol.* 59 pp. 479-485. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.06.001>
- [10] Balestra F., Cocci E., Pinnavaia G. G., Romani S. (2011): Evaluation of antioxidant, rheological and sensorial properties of wheat flour dough and bread containing ginger powder. *LWT Food Sci. Technol.* 44 (3) pp. 700-705. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.10.017>

- [11] Lim H. S., Park S. H., Ghafoor K., Hwang S. Y., Park J. (2011): Quality and antioxidant properties of bread containing turmeric (*Curcuma longa* L.) cultivated in South Korea. *Food Chem.* 124 (4) pp. 577-1582.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.08.016>
- [12] Prokov T., Chonova V., Slavov A., Dessev T., Dimitrov N., Petkova N. (2018): Effects on the quality and health-enhancing properties of industrial onion waste powder on bread. *J Food Sci Technol.* 55 (12) pp. 5091-5097. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3448-8>
- [13] Arufe S., Della Valle G., Chiron H., Chenlo F., Sineiro J., Moreira R. (2018) Effect of brown seaweed powder on physical and textural properties of wheat bread. *Eur Food Res Technol* 244 pp. 1-10.
<https://doi.org/10.1007/s00217-017-2929-8>
- [14] Bourekoua H., Rózyło R., Gawlik-Dziki U., Benatallah L., Zidoune M. N., Dziki D. (2018): Evaluation of physical, sensorial, and antioxidant properties of gluten-free bread enriched with *Moringa Oleifera* leaf powder. *Eur Food Res Technol.* 244 pp. 189-195. <https://doi.org/10.1007/s00217-017-2942-y>
- [15] Kowalczewski P. L., Walkowiak K., Masewicz Ł., Duda A., Poliszko N., Rożańska M. B., Jeżowski P., Tomkowiak A., Mildner-Szkudlarz S., Baranowska H. M. (2019): Wheat bread enriched with raspberry and strawberry oilcakes: effects on proximate composition, texture and water properties. *Eur Food Res Technol.* 245 pp. 2591-2600. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03370-5>
- [16] Kántor A., Fischinger L. Á., Alexa L., Papp-Topa E., Kovács B., Czipa N. (2019): Funkcionális kenyér, avagy a fokhagyma és készítményei hatása a kenyér egyes paramétereire/Functional bread, or the effects of garlic and its products on certain parameters of bread. *Élelmiszervizsgálati közlemények.* 65 (4) pp. 2704-2714.
- [17] Singleton V. L., Orthofer R., Lamuela-Raventos M. (1999): Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. In: Abelson J, Simon M (ed) *Methods in enzymology.* Academic Press, California, pp. 152-178.
[https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- [18] Kim D. O., Jeong S. W., Lee C. Y. (2003): Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums. *Food Chem.* 81 (3) pp. 321-326. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00423-5](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00423-5)
- [19] Kovács B., Győri Z., Csapó J., Loch J., Dániel P. (1996): A study of plant sample preparation and inductively coupled plasma emission spectrometry parameters. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 27 (5-8) pp. 1177-1198.
<https://doi.org/10.1080/00103629609369625>
- [20] Moghaddam M., Mehdizadeh L. (2015) Variability of total phenolic, flavonoid and rosmarinic acid content among Iranian basil accessions. *LWT Food Sci. Technol.* 63 (1) pp. 535-540.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.068>
- [21] Kwee E. M., Niemeyer D. E. (2011) Variations in phenolic composition and antioxidant properties among 15 basil (*Ocimum basilicum* L.) cultivars. *Food Chem.* 128 (4) pp. 1044-1050.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.04.011>
- [22] Magyar Szabványügyi Testület (MSZT) (2007): Sütőipari termékek vizsgálati módszerei. Magyar Szabvány MSZ 20501-1. Magyar Szabványügyi Testület, Budapest.

Examination of breads enriched with dried basil and evaluation of the results

Keywords: bread, basil, total polyphenol content (TPC), flavonoid content, element content, functional food

1. SUMMARY

Both bread and spices play an important role in our daily diet. Basil is an extremely popular spice, the beneficial effects of which have long been known. This is why the enrichment of breads with commercially available dried basil was carried out. In the case of basil, its antioxidant and element contents were determined. With respect to these parameters, results indicating outstandingly advantageous properties were obtained. During the enrichment, 6 different concentrations were used and a control sample was prepared that did not contain basil. As the amount of spice was increased, the total polyphenol content (TPC), flavonoid and macronutrient contents of the breads also increased. There was no difference between the products in terms of their crude fat content. In the case of the protein content, a minimal increase was measured with increasing spice concentration.

¹ University of Debrecen, Institute of Food Science

Andrea VARGA-KÁNTOR
Loránd ALEXA
Emőke TOPA
Béla KOVÁCS
Nikolett CZIPA

kantor.andrea@agr.unideb.hu
alexal@agr.unideb.hu
papp-topa.emoke@agr.unideb.hu
kovacs@agr.unideb.hu
czipa@agr.unideb.hu

<https://orcid.org/0000-0003-2296-3011>
<https://orcid.org/0000-0001-5281-2340>
<https://orcid.org/0000-0002-0551-8058>
<https://orcid.org/0000-0002-6439-4753>
<https://orcid.org/0000-0001-6966-4380>

2. Introduction

Basil is mostly grown in Mediterranean countries. Its leaves, fresh or dried, are used as a seasoning. It is also known as an herb, its use is recommended against headaches, coughs, diarrhea, constipation, warts, worms and kidney problems, among other things [1]. Rosmarinic acid is responsible for its antioxidant effect, as it binds free radicals. It cannot be used against fungi, but its antibacterial and antiviral activities are known [2]. It has outstanding values in terms of element content, which has been studied by Ghanjaoui et al. [1], Özcan and Akbulut [3], as well as Özcan [4], among others.

Baking is one of the oldest human occupations related to food preparation. When prehistoric man settled down and switched to gathering and farming, cereals became the most important sources of food. With continuous learning and technological development, it has been possible to process the collected seeds into various products [5]. One such product was bread, which was very different from the product that is being consumed today. Nevertheless, many types of bread are still made today. In the Middle East, flat bread dominates, in China, steamed bread, while in America, corn-based product dominate. Bread is mostly made from wheat and some other commonly used cereals, as the proteins of these are best suited to make the right product [6].

According to papers in the literature, there have been several attempts to enrich bread with different substances. Raba et al. [7] prepared and tested bread enriched with garlic and basil. Suleria et al. [8] used aqueous garlic extract, but breads enriched with yellow pepper flour [9], ginger powder [10], turmeric [11], waste onion powder [12], brown algae powder [13], horseradish leaf powder [14], raspberry and strawberry oil cake [15], as well as garlic and its preparations [16] have also been made.

Since, to the best of our knowledge, there have been few bread fortification experiments with spices and then few studies were carried out, we first used basil in our experiment and examined what measurable changes were caused in the baked product by the addition of the spice.

3. Materials and methods

3.1. Bread preparation

In our experiments, different parameters of 7 bread samples were examined. The ingredients were selected and the breads were prepared according to the method of Kántor et al. [16]. The ingredients used to make the products were purchased at retail stores. Basil was added to the bread dough before kneading in the amounts of 0.00 g; 4.25 g; 8.5 g; 12.75 g; 17.0 g; 21.25 g and 25.5 g (Table 1).

Table 1. The names of the breads tested and their basil content

Marking	The amount of spice used in the bread (g)
1	0
2	4.25
3	8.50
4	12.75
5	17.0
6	21.25
7	25.5

During the experiment, the total polyphenol (TPC), flavonoid and element content of basil was examined, and then the dry matter, total polyphenol (TPC), flavonoid, crude fat, crude protein and macroelement contents of the breads were determined. In the case of the breads, the measured values were reported on a dry matter basis.

3.2. Determination of total polyphenol content (TPC)

For the analysis, the method of Singleton et al. [17] was used for both basil and the breads. The samples were soaked in methanol (Scharlab S. L., Spain): distilled water (80:20), then the mixture was filtered through 292 pleated filter-paper (Sartorius Stedim Biotech S.A., Gottingen, Germany). 1 ml of the resulting solution was pipetted into a test tube, to which 2.5 ml of Folin-Ciocalteu reagent (VWR International S.A.S., France) was added. After 5 minutes, 2 ml of 75 g/l sodium carbonate (Scharlab S. L., Spain) was added to give a colored compound, the absorbance of which was measured with a spectrophotometer (Evolution 300 LC, Thermo Electron Corporation, England) at 760 nm. For the determination of the total polyphenol content, calibration solutions were prepared from a gallic acid (Alfa Aesar GmbH&Co. KG, Karlsruhe, Germany) stock solution. The absorbance of the calibration solution series was also measured, from the results of which a calibration curve was constructed. The total polyphenol content of our sample solution was determined using this curve. Results are given in mg GAE/100 g.

3.3. Determination of flavonoid content

Flavonoid content analytical results for both the spice and the breads are expressed in mg catechin equivalent per 100 g (mg CE/100 g). As a result of the added reagents, the solutions turned pink. Absorbances were measured at 510 nm with a spectrophotometer (Evolution 300 LC, Thermo Electron Corporation, England). The following reagents were used for the analysis: catechin (Cayman Chemical Company, USA), aluminum chloride (Scharlab S.L., Spain), sodium nitrite (Scharlau Chemie S.A., Spain), sodium hydroxide (Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Germany) and methanol (Scharlab S.L., Spain) [18].

3.4. Determination of element content

Sample preparation was carried out by the method of Kovács et al. [19] prior to measurement with ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer; Thermo Scientific iCAP 6300, Cambridge, UK). Samples were placed in digestion tubes and 10 ml of nitric acid (69% v/v, VWR International Ltd., Radnor, USA) was added to the tubes. The mixtures were allowed to stand overnight, and the next day pre-digestion was performed at 60 °C for 30 minutes. After cooling, 3 ml of hydrogen peroxide (30% v/v, VWR International Ltd., Radnor, USA) was added to the samples and the main digestion was performed at 120 °C for 90 minutes. After this, the cooled samples were diluted with Milli-Q distilled water (Millipore S.A.S., Molsheim, France) and filtered through 388 filter paper (Sartorius Stedim Biotech S.A., Gottingen, Germany). The following element contents were determined by ICP-OES in the resulting digestates:

- Ca 315.8 nm,
- K 769.8 nm,
- Mg 280.2 nm,
- Na 818.3 nm,
- P 185.9 nm,
- S 180.7 nm.

Measurement wavelengths are indicated after the chemical symbols of the elements.

3.5. Determination of dry matter, crude fat and crude protein contents

Breads were tested for these parameters according to standard MSZ 20501-1:2007 [22].

3.6. Statistics

The experiments were performed in triplicate. SPSS statistical software (version 13; SPSS Inc. Chicago, Illinois, USA) was used to evaluate the results. This was also used to determine the mean and standard deviation. To determine statistically significant differences between the results, one-way analysis of variance (Tukey and Dunnett's T3 test; $P < 0.05$) was used.

4. Results and evaluation

4.1. Results of the examination of basil

Average values of basil analyses are shown in **Table 2**. This table shows the total polyphenol, flavonoid and element contents of the spice as determined by three replicate measurements.

Table 2. Basil measurement results

TPC mg GAE/100g	Flavonoid mg CE/100 g	Ca mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	Na mg/kg	P mg/kg	S mg/kg
512±19	947±49	21.389±871	26.862±590	7.650±372	695±18	3.816±88	2.596±77

The polyphenol content values of basil were higher than the amounts (7.15-107 mg GAE/100 g) reported in the study of Moghaddam and Mehdizadeh [20]. However, in the dissertation of Kwee and Niemeyer [21], in which a study of 15 basil varieties was reported, the total polyphenol content ranged from 347 to 1,758 mg GAE/100 g. Based on our results, it can be stated that the value measured by us was high. In the case of basil, outstanding flavonoid content values are to be expected.

Based on our measurements, the spice has primarily high calcium and potassium contents, the values of which were over 20,000 mg/kg. A similar potassium content was measured by Özcan [4] in the case of dried basil (24,811 mg/kg), but the calcium content was much lower than the concentrations determined by us (12,363 mg/kg). The magnesium content of the plant is not negligible either, as a value of almost 8,000 mg/kg was measured from the alkaline earth metal. This is much higher than the values obtained by Özcan [4] and Özcan and Akbulut [3] (5,738 mg/kg and 3,130 mg/kg, respectively).

The analytical results of phosphorus and sulfur were also in the order of thousands in the given sample. Higher P (4,960 mg/kg) and lower S (1,923 mg/kg) contents were measured by Özcan [4] in dried basil of Turkish origin. Of the macroelements, sodium was found to have the lowest value, compared to the values reported by Özcan and Akbulut [3] (2,895 mg/kg).

4.2. Results of bread analyses

The results of bread nutritional value measurements are shown in **Table 3**.

Table 3. Bread nutritional value results on a dry matter basis

Sample no.	Dry matter content (%)	TPC mg GAE/100 g	Flavonoid mg CE/100 g	Crude fat (%)	Crude protein (%)
1	69.5±0.2	37.8±0.1	26.0±1.7	6.33±0.21	12.4±0.1
2	69.7±0.1	52.8±1.5	29.1±1.1	5.60±0.10	12.8±0.1
3	69.1±0.1	59.7±0.3	38.7±1.9	5.73±0.31	12.8±0.3
4	68.3±0.1	71.4±0.2	46.4±0.9	5.10±0.26	12.9±0.1
5	68.6±0.1	77.7±1.6	53.2±1.4	5.10±0.26	13.4±0.1
6	70.5±0.1	91.5±0.1	59.4±0.9	5.10±0.85	13.6±0.0
7	69.7±0.1	106±1	70.1±1.1	5.90±0.10	13.2±0.0

4.2.1. Results of dry matter content measurements

Dry matter contents of the bread samples were found to be similar. The dry matter content values of the samples ranged from 68.3% to 70.5%. Sample 4th had the lowest value, while the highest value was measured for sample 6th. Similar results were obtained for samples 1st, 2nd and 7th. For these values, no statistically verifiable differences were found. Compared to the other samples, however, the results of the before mentioned breads were significantly different. The sample with the highest dry matter content, which was sample 6th, differed significantly from all other samples. Nearly identical dry matter content values were measured for breads 4th and 5th, as well as for breads 3rd and 5th.

4.2.2. Results of total polyphenol content measurements

In terms of the total polyphenol content, it was found that even the control bread contained a certain amount of antioxidant compound, which was naturally the lowest of all samples. Kántor et al. [16] also found antioxidant compounds in their control bread. As the spices were added to the breads, the quantity of antioxidants increased steadily. The highest amount was measured in the case of sample 7th. The analytical results of all samples showed significant differences when compared to each other.

4.2.3. Results of total flavonoid content measurements

The quantity of flavonoids increased in proportion to the amount of spice added to the bread dough, similar to the polyphenol content. The lowest value was measured in the control sample, from which the flavonoid content of sample 2nd did not differ statistically, but in all other cases a significant difference was observed. Sample 7th, with a spice content of 25.5 g, had the highest flavonoid content.

4.2.4. Results of crude fat content measurements

In terms of crude fat content, the results were mixed. Values between 5.10% and 6.33% were measured. The highest fat content was determined in the control sample, while the lowest values were found in samples 4th, 5th and 6th. For breads 2nd and 3rd, the difference was only 0.1%. The fat content of bread sample 7th was higher than the previous results, but not more than that of the control sample. None of these results differed from each other in a statistically verifiable way, so it was found that there were no statistically verifiable differences in the fat contents of the breads made by us.

4.2.5. Results of protein content measurements

In terms of protein content, values that differed from each other were measured. The highest value was measured in the case of sample 6th, while the lowest was obtained in the case of the control sample. With the addition of basil, a minimal increase in the protein content was observed. There were no statistically verifiable differences in the case of the first 3 samples, however, the result of our control sample differed from the values of samples 4th, 5th, 6th and 7th. Samples with the highest protein content (5th and 6th) showed significant differences from samples 1st, 2nd, 3rd and 4th. The protein content of the bread enriched with the highest amount of spice differed only from the values obtained for samples 1st and 3rd, as in this case the protein content of the product was lower.

4.2.6. Results of macro element content measurements

Results of the macro element content measurements of the breads are summarized in **Table 4**.

Table 4. Bread macroelement content results on a dry matter basis

Sample no.	Ca mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	Na mg/kg	P mg/kg	S mg/kg
1	476±15	2.200±37	260±9	2.585±60	1.478±26	1.008±19
2	682±64	2.400±84	328±22	2.532±109	1.494±54	1.033±79
3	886±17	2.589±17	394±7	2.503±46	1.518±13	1.066±33
4	1.087±52	2.868±81	471±14	2.546±85	1.575±38	1.104±47
5	1.232±36	3.009±50	536±10	2.459±59	1.619±25	1.140±40
6	1.391±53	3.127±12	585±13	2.395±14	1.623±14	1.138±29
7	1.614±33	3.408±28	650±10	2.523±39	1.616±14	1.154±20

In the case of the control bread (sample 1st), our macro element content results were similar to those reported by Kántor et al. [16], with the exception of sodium (Ca: 510 mg/kg; K: 2,418 mg/kg; Mg: 285 mg/kg; Na: 3,180 mg/kg; P: 1,512 mg/kg; S: 948 mg/kg).

Regarding the amount of macroelements that could be measured in the samples, it was found that their amount increased in each case with increasing spice concentration. Sodium and sulfur are exceptions to this, as although slightly different results were obtained, this difference could be verified statistically. The results of basil show that these two elements have the lowest amounts in the plant. While the amounts of calcium, potassium, magnesium, phosphorus and sulfur in the bread showed lower values than in the spice itself, the sodium content increased significantly due to the addition of the same amount of table salt to the samples.

The calcium content of the samples ranged from 476 to 1,614 mg/kg. With the addition of basil, the calcium content increased gradually, in most cases by 200 mg/kg between the individual concentrations. Significant difference could not be detected only between samples 4th and 5th.

When determining the potassium content of the bread, values higher than those obtained for calcium were measured. Compared to the control sample, which contained 2,200 mg/kg of potassium, even the product with the lowest amount of spice showed a significant difference. The highest element content was measured in the case of sample 7th, which contained more than 1,200 mg/kg more potassium than sample 1st. There were no statistically verifiable differences between samples 4th and 5th, or 5th and 6th, however, there were significant differences in all other cases.

The magnesium content also increased, as shown by the results. Once again, the control sample had the lowest value, while sample 7th had the highest value. In terms of macro element content, the lowest values were measured for this element, as even the bread with the highest basil content did not reach a value of 1,000 mg/kg. Based on our results, it can be stated that there were statistically verifiable differences between the measured values in all cases.

The phosphorus content in the samples analyzed was between 1,478 and 1,623 mg/kg, these results being measured in samples 1st and 6th. As the amount of spice increased, the phosphorus content also increased. There were statistically verifiable differences between samples 1st-5th, 1st-6th, 1st-7th, 2nd-5th, 2nd-6th, 2nd-7th and 3rd-6th. In the other cases there were no differences in the phosphorus content.

5. Conclusion

At the beginning of the experiment, basil itself was examined, and its antioxidant compounds and macro element content were determined. As the results show, the spice itself has a very high total polyphenol and flavonoid content. In addition to these parameters, its macro element content is also significant, as it has outstanding calcium and potassium contents, which is also supported by the studies mentioned in the literature. Magnesium, phosphorus and sulfur were also measured in non-negligible amounts.

During the preparation of the breads, all the ingredients were added in the same amount, except for the spice, so it was expected that there would be differences as the amount of basil increased.

We cannot draw a clear conclusion as to why the dry matter content has changed this way. The expected result was that as the amount of spice increases, the dry matter content of the bread increases as well. Differences may have been due to the nature of the convection oven.

Both the total polyphenol content and flavonoid content results were in line with our expectations, as the addition of basil, containing a large amount of antioxidant compounds, to the bread significantly increased the values of these parameters, despite the fact that most of these compounds are heat sensitive.

No difference was found in the crude fat content of the samples analyzed, so enrichment does not affect this parameter.

However, differences were observed in the protein content, as an increase in protein content was achieved by the enrichment. Further research is needed to answer the question as to why this value has increased.

In the case of the macro element content, with the exception of sodium and sulfur, a significant increase was achieved, which may be due to the high element content of basil.

Based on our studies and results, it can be said that enrichment with basil had a positive effect on most of the measured parameters. Higher intakes of antioxidant compounds and macronutrients are also beneficial, because these compounds are required for the normal functioning of the human body.

6. References

- [1] Ghanjaoui M. E., Cervera M. L., Rhazi M. E., M. de la Guardia (2011): Validated fast procedure for trace element determination in basil powder. *Food Chem.* 125 (4) pp. 309-1313. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.09.091>
- [2] Pushpangadan P., George V. (2012): Basil. pp. 55-72 In: Peter K.V. (ed) *Handbook of herbs and spices, Second Edition. Volume 1.* Woodhead Publishing, Cambridge <https://doi.org/10.1533/9780857095671.55>
- [3] Özcan M. M., Akbulut M. (2007): Estimation of minerals, nitrate and nitrite contents of medicinal and aromatic plants used as spices, condiments and herbal tea. *Food Chem.* 106 (2) pp. 852-858. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.06.045>
- [4] Özcan M. (2004): Mineral contents of some plants used as condiments in Turkey. *Food Chem.* 84 (3) pp.437-440. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00263-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00263-2)
- [5] Gisslen W. (2016): *Professional Baking. Seventh Edition.* John Wiley & Sons Inc. USA. p.792.
- [6] Cauvain S. P. (2015): *Technology of Breadmaking. Third Edition.* Springer International Publishing. Switzerland. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-14687-4>
- [7] Raba D. N., Moigrădean D., Poiană M-A., Popa M., Jianu I. (2007): Antioxidant capacity and polyphenols content for garlic and basil flavoured bread. *J. Agroaliment. Proc. Technol.* 13 (1) pp.163-168.
- [8] Suleria H. A. R., Khalid N., Sultan S., Raza A., Muhammad A., Abbas M. (2015): Functional and Nutraceutical Bread prepared by using Aqueous Garlic Extract. *Int. J. Food Safety.* 17 pp. 10-20.
- [9] Danza A., Mastromatteo M., Cozzolino F., Lecce L., Lampignano V., Laverse J., Nobile M. A. D. (2014): Processing and characterization of durum wheat bread enriched with antioxidant from yellow pepper flour. *LWT Food Sci. Technol.* 59 pp. 479-485. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.06.001>
- [10] Balestra F., Cocci E., Pinnavaia G. G., Romani S. (2011): Evaluation of antioxidant, rheological and sensorial properties of wheat flour dough and bread containing ginger powder. *LWT Food Sci. Technol.* 44 (3) pp. 700-705. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.10.017>
- [11] Lim H. S., Park S. H., Ghafoor K., Hwang S. Y., Park J. (2011): Quality and antioxidant properties of bread containing turmeric (*Curcuma longa* L.) cultivated in South Korea. *Food Chem.* 124 (4) pp. 577-1582. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.08.016>
- [12] Prokov T., Chonova V., Slavov A., Dessev T., Dimitrov N., Petkova N. (2018): Effects on the quality and health-enhancing properties of industrial onion waste powder on bread. *J Food Sci Technol.* 55 (12) pp. 5091-5097. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3448-8>
- [13] Arufe S., Della Valle G., Chiron H., Chenlo F., Sineiro J., Moreira R. (2018) Effect of brown seaweed powder on physical and textural properties of wheat bread. *Eur Food Res Technol* 244 pp. 1-10. <https://doi.org/10.1007/s00217-017-2929-8>
- [14] Bourekoua H., Rózyło R., Gawlik-Dziki U., Benatallah L., Zidoune M. N., Dziki D. (2018): Evaluation of physical, sensorial, and antioxidant properties of gluten-free bread enriched with *Moringa Oleifera* leaf powder. *Eur Food Res Technol.* 244 pp. 189-195. <https://doi.org/10.1007/s00217-017-2942-y>

- [15] Kowalczewski P. L., Walkowiak K., Masewicz Ł., Duda A., Poliszko N., Rożańska M. B., Jeżowski P., Tomkowiak A., Mildner-Szkudlarz S., Baranowska H. M. (2019): Wheat bread enriched with raspberry and strawberry oilcakes: effects on proximate composition, texture and water properties. *Eur Food Res Technol.* 245 pp. 2591-2600. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03370-5>
- [16] Kántor A., Fischinger L. Á., Alexa L., Papp-Topa E., Kovács B., Czipa N. (2019): Funkcionális kenyér, avagy a fokhagyma és készítményei hatása a kenyér egyes paramétereire/Functional bread, or the effects of garlic and its products on certain parameters of bread. *Élelmiszervizsgálati közlemények.* 65 (4) pp. 2704-2714.
- [17] Singleton V. L., Orthofer R., Lamuela-Raventos M. (1999): Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. In: Abelson J, Simon M (ed) *Methods in enzymology.* Academic Press, California, pp. 152-178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- [18] Kim D. O., Jeong S. W., Lee C. Y. (2003): Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums. *Food Chem.* 81 (3) pp. 321-326. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00423-5](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00423-5)
- [19] Kovács B., Győri Z., Csapó J., Loch J., Dániel P. (1996): A study of plant sample preparation and inductively coupled plasma emission spectrometry parameters. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 27 (5-8) pp. 1177-1198. <https://doi.org/10.1080/00103629609369625>
- [20] Moghaddam M., Mehdizadeh L. (2015) Variability of total phenolic, flavonoid and rosmarinic acid content among Iranian basil accessions. *LWT Food Sci. Technol.* 63 (1) pp. 535-540. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.068>
- [21] Kwee E. M., Niemeyer D. E. (2011) Variations in phenolic composition and antioxidant properties among 15 basil (*Ocimum basilicum* L.) cultivars. *Food Chem.* 128 (4) pp. 1044-1050. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.04.011>
- [22] Magyar Szabványügyi Testület (MSzT) (2007): Sütőipari termékek vizsgálati módszerei. Magyar Szabvány MSz 20501-1. Magyar Szabványügyi Testület, Budapest.

Kereskedelmi forgalomban kapható kapszulás kávék akrilamid tartalma

Kulcsszavak: Akrilamid, karcinogén, toxikus vegyület, aszparagin, Maillard-reakció, kapszulás kávé, őrölt kávé, pörkölt kávé, robusta, arabica, pörkölési eljárások hatása, koffeintartalmú és koffeinmentes kávé, LC-MS/MS

1. ÖSSZEFOGLALÁS

A kapszulás kávék fogyasztása egyre gyakoribb a mindennapi életben. Ma már számos kutatás támasztja alá a megfelelő mennyiségű kávé fogyasztás jótékony hatásait. Kedvező hatásai ellenére megvannak a kávéfogyasztás hátrányai is. Például a pörköltkávéban megtalálható akrilamid, amely a pörkölés során keletkezik, egészségügyi kockázatot jelent. Az akrilamidot a Rákkutatási Hivatal (International Agency for Research on Cancer – IARC) a 2A csoportba sorolta be, mint valószínű emberi rákkeltő [1]. A pörkölési technológiai paraméterek hatással vannak a termékben képződő akrilamid mennyiségére. A világos pörkölésű kávék nagyobb mennyiségben tartalmazzák ezt a vegyületet, mint a sötét pörkölésűek.

Az őrölt kávétermékek akrilamid-tartalmának vizsgálatára számos tanulmány született, azonban a kapszulás kávék ilyen téren még nem kaptak hasonló figyelmet. Tanulmányomban különböző típusú kereskedelmi forgalomban kapható kapszulás kávék akrilamid tartalmát vizsgáltam HPLC-MS/MS méréssel. A koffeinmentes kávék előállítására eltérő technológiával történik, így ezekből a típusokból is vizsgálat alá vettem néhányat.

¹ Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal Élelmiszerlánc-biztonsági Laboratóriumi Igazgatóság Analitikai Nemzeti Referencia Laboratórium

2. Bevezetés

2.1. Az akrilamid és képződése, hatásai

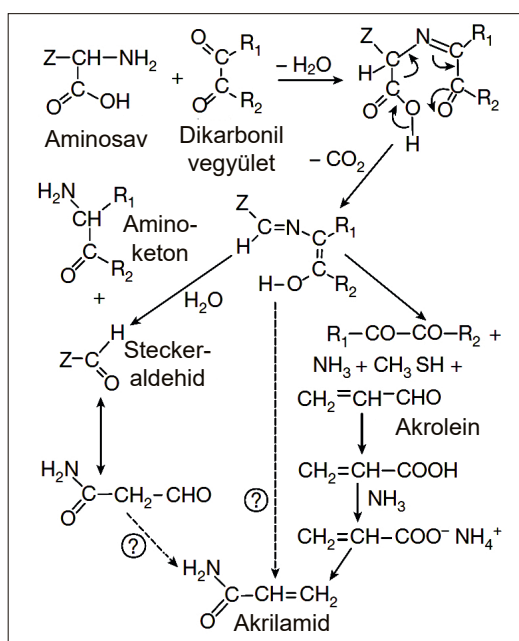
Az akrilamid szerves vegyület, összegképlete C_3H_5NO . IUPAC neve prop-2-énamid. Kis molekulású, szagtalan, szilárd, fehér színű vegyület, amely vízben jól oldódik, de szerves oldószerekben is oldható. Az iparban poliakrilamidok gyártásához használják, amelyeket vízoldható sűrítőanyagként és flokkulációs szerként alkalmaznak. Rendkívül mérgező vegyület, így elsősorban vizes oldat formájában kezelik [2].

Az akrilamid emberi idegméreg, melyet a Nemzetközi Rákkutatási Hivatal (IARC) a 2A csoportba sorolt be, mint valószínű emberi rákkeltő [1]. Az akrilamidot az 1950-es évektől kezdve számos ipari eljárás során alkalmazzák. A Swedish National Food Administration 2002. április 24-én közleményt adott ki felfedezéséről, miszerint a magas szénhidrát-tartalmú hőkezelt élelmiszerekben melléktermékként képződik [3], így kimutatható főként a snack ételekben, a burgonya chipsekben, kenyérfélékben, gabonatermékekben és a kávéban is. A felfedezés után egyre több vizsgálat indult az akrilamid tartalom kimutatására. Egyre több kutató keres választ arra, hogy hogyan keletkezik az egyes élelmiszerekben.

Mottram és társai széleskörű vizsgálatokat végeztek arra vonatkozóan, hogy hőkezelés során milyen módon képződik aminosavakból és redukáló cukrokból akrilamid a Maillard reakció eredményeként. Megállapították, hogy az aszparagin – amely a burgonyában és a gabonafélékben legnagyobb mennyiségben megtalálható aminosav – nagy mértékben hozzájárul az akrilamid képződéshez. A sütés és pörkölés során az íz-, és aromaanyagok, illetve a szín kialakításáért Maillard-reakció termékei felelősek. Ekkor megy végbe az aminosavak Strecker-degradációja is, amikor az aminosav dekarboxileződik, majd deaminálódik, és aldehid képződik. A folyamat vázlatát az 1. ábrán látható [4].

Számos tanulmány szerint az akrilamid azért toxikus, mert adduktokat képez a hemoglobinban található vegyületekkel, valamint reakcióba lép fontos funkcionális fehérjékkel és a DNS-sel is. Az akrilamid metabolitja, a glicidamid is hasonlóan reagál a hemoglobinnal [5].

A leginkább tanulmányozott terület az akrilamid neurotoxikus tulajdonságaival kapcsolatos, hiszen ezek embereknél és állatoknál is megfigyelhetők. Többféle laboratóriumi állaton is végeztek megfigyeléseket, például macskák, patkányok, egerek, nyulak és majmok. 0,5-50 mg akrilamid/kg/nap adagolás után mindegyik állatnál a végtagok mozgási zavarai és izomgyengeség volt megfigyelhető [6].



1. ábra. Az akrilamid képződésének vázlatát [4]

2.2. Akrilamid a kávéban

A kávé akrilamid-tartalma a pörkölés során alakul ki. Guenther és társai egy széleskörű tanulmányban megállapították, hogy a pörkölés kezdeti szakaszában keletkezik a legnagyobb mennyiségben (több, mint 7 mg/kg), majd a folyamat végéhez közeledve csökken. Az akrilamid a pörkölési ciklus vége felé haladva egyre jobban eliminálódik, fizikai és kémiai veszteség is fellép [7].

Kinetikus modellek és egyéb, izotóppal jelölt akrilamiddal végzett kísérletek bebizonyították, hogy a teljes pörkölési folyamat során a keletkező akrilamid több, mint 95%-a elbomlik. Ez azt jelenti, hogy a rövidebb pörkölési ciklusú, világos pörkölésű kávék akrilamid tartalma sokkal magasabb, mint a sötét pörkölésű szemeké [7].

A tanulmány szerzői azt is kifejtették, hogy a zöld kávébabok igen kis koncentrációban tartalmaznak aszparagint (0,2–1,0 g/kg), amely csak elhanyagolható mértékben magasabb a Robusta fajok esetén. Így azt tapasztalták, hogy az aszparagin mennyisége és az akrilamid-tartalom gyenge korrelációt mutatott, sőt a Robusta szemeknél nem találtak korrelációt. Ez annak köszönhető, hogy az akrilamid-vesztesség mértéke messze felülmúlja a képződésének mértékét [7].

Alves és társai azt vizsgálták, hogy hogyan változik az akrilamid tartalom a főzött espresso kávéban, hiszen véleményük szerint a fogyasztók leginkább ilyen formában juttatják be a szervezetükbe. Az akrilamid jól oldódik vízben, így a főzés során könnyen kioldódik a kávéból. A főzött kávé kémiai tulajdonságait sok tényező befolyásolja, mint például a kávé típusa (Arabica vagy Robusta, illetve bizonyos arányú keveréke), a pörkölés mértéke vagy a felhasznált víz mennyisége adott mennyiségű kávé elkészítéséhez, ami egyéni ízlés szerint változik. Néhány tanulmány szerint az egyes kávéitalok akrilamid tartalma 2 és 25 µg/l között volt [8].

3. Célkitűzés

Munkám fő céljaként különböző típusú kapszulás kávék akrilamid-tartalmának HPLC-MS/MS mérésel történő vizsgálatát tűztem ki.

Irodalmi adatok alapján feltételeztem, hogy a kapszulás kávékból főzött italok akrilamid tartalma magasabb, mint a kapszulából kinyert őrölt kávé akrilamid-tartalma, hiszen az vízzel könnyen kioldódik a főzés során. A mérésekkel ezt kívántam vizsgálni, illetve igazolni.

Célként tűztem ki a különböző kávéfőző gépek összehasonlítását is. A kávégépek eltérő paraméterekkel rendelkeznek (például hőmérséklet, nyomás, felhasznált víz mennyisége), így befolyásolhatják a kapszulás kávékból kioldódó akrilamid mennyiségét.

Olyan irodalmi adatok is rendelkezésre állnak, amelyek azt mutatják be, hogy a kávé pörkölési technológiája hogyan befolyásolja az akrilamid-tartalmat a végtermékben. A rövidebb ideig pörkölt, úgynevezett világos pörkölésű kávék akrilamid-tartalma magasabb, mint a hosszabb ideig tartó, sötét pörkölésű kávék esetében. Ezt a befolyásoló tényezőt is ellenőriztem.

Tekintve, hogy a koffeinmentes kávék előállítása különböző technológiát kíván, így ezekből a típusokból is vizsgálat alá vettem néhányat.

4. Anyag és módszer

4.1. Felhasznált vegyszerek, eszközök és készülékek

Munkám során analitikai tisztaságú vegyszereket, HPLC minőségű oldószereket (metanol, ecetsav anhidrid, n-hexán) és desztillált vizet használtam, valamint a következőket: akrilamid és belső standardként 10 µg/ml akrilamid-¹³C₃.

A szokásos laboratóriumi eszközökön felül a minták előkészítéséhez Biotage ISOLUTE® Multimode 1g/6ml és Biotage ISOLUTE® ENV+500mg/6ml SPE oszlopokat használtam. A kapszulás kávék lefőzéséhez a következő kávégépeket használtam: Nespresso Essenza Mini, Krups KP120H31, Tchibo Caffissimo és Martello Smart.

A minták műszeres mérését Thermo Scientific™ Dionex UltiMate™ 3000 HPLC rendszeren, Phenomenex Kinetex® C18 2,6 µm 100 Å 150x4,6 mm kolonnával, Thermo Scientific™ TSQ Quantis™ hármass kvadrupól MS detektorral valósítottam meg.

4.2. Mintaelőkészítés

Méréseimet és a mintaelőkészítést az MSZ EN 16618:2015 Élelmiszer-vizsgálatok. Az akrilamid meghatározása élelmiszerben folyadék-kromatográfiás tandem-tömegspektrometriával (LC-ESI-MS/MS) szabvány szerint végeztem el.

A mintákat kereskedelmi forgalomból szereztem be, melyek különböző gyártók koffeintartalmú (25 db) és koffeinmentes (8 db) kapszulás kávéi voltak. A méréseket a kapszulákban lévő őrölt kávéból és a lefőzött kávékból is elvégeztem. Az **1. táblázatban** tüntettem fel a vizsgált kávékat sorszámaik szerint, illetve a kávégépeket.

1. táblázat. Kávék és kávégépek

Kávétípus	Nespresso	Dolce Gusto	Caffissimo	Martello
Koffeintartalmú kávék sorszáma	1, 5, 7, 8, 10, 16, 20, 21, 23	3, 4, 6, 9, 15	17, 25, 26, 27, 28, 29	13, 30, 31, 32, 33
Koffeinmentes kávék sorszáma	2, 11, 12, 19, 22	24	18	14

Az eredmények statisztikai kiértékeléséhez az IBM SPSS Statistics szoftvert használtam.

5. Eredmények

5.1. Akrilamid-tartalom

A kávéminták akrilamid-tartalom mérési eredményeit A **2. táblázatban** foglaltam össze. Feltüntettem az őrölt kávékból mért eredményeket, és az azokhoz tartozó lefőzött kávék eredményeit is.

2. táblázat. Mérési eredmények

Sorszám	Őrölt (µg/kg)	Lefőzött (µg/kg)	Sorszám	Őrölt (µg/kg)	Lefőzött (µg/kg)
1	224,0	170,7	18	215,1	205,9
2	237,7	230,0	19	205,6	242,2
3	176,6	184,1	20	271,1	279,9
4	168,8	179,4	21	195,7	212,6
5	274,8	243,0	22	128,8	126,5
6	201,6	231,9	23	223,1	231,7
7	161,6	183,8	24	203,8	198,3
8	189,7	207,4	25	284,9	250,2
9	231,2	232,4	26	399,8	389,9
10	287,9	280,3	27	121,4	124,2
11	107,0	128,7	28	130,2	119,0
12	240,3	118,6	29	174,3	159,4
13	446,5	427,4	30	189,8	200,2
14	353,7	351,0	31	224,9	255,6
15	204,9	221,6	32	263,3	276,2
16	270,7	156,1	33	416,2	407,9
17	274,0	240,0			

A kapott eredmények nem minden esetben voltak összhangban a Bizottság 2017/2158 rendeletében meghatározott pörkölt kávéra vonatkozó 400 µg/kg referenciaszinttel, egyes koffeintartalmú minták – a 13. és 33. sorszámúak – akrilamid-tartalma meghaladta ezt a mennyiséget. Valószínű, hogy a 13. sorszámú kávé minta esetében a magasabb akrilamid-szint azért alakulhatott ki, mert a minta Robusta kávé tartalmazott, amelyben a szakirodalom szerint nagyobb az akrilamid-képződés intenzitása. A 33. sorszámú minta eredménye azzal magyarázható, hogy az egy mogyorós, ízesített keverék volt. Tekintve, hogy az Arabica kávéfajta mellé Robusta fajtát keverték, így ez okozhatott magasabb eredményt, melyhez a pörkölt mogyorós ízesítés is hozzájárulhatott. Átlagosan az őrölt kávék akrilamid-tartalma nagyobb, illetőleg esetenként közel hasonló volt, mint a lefőzött kávék eredményei. Találtam olyan mintát is, amelynél a lefőzött kávék több akrilamidot tartalmaztak, mint az őrölt kávék, de ezen értékek többsége a 10 % mérési bizonytalanságon belül esik.

Statisztikai (ANOVA) számításaim alapján az őrölt és lefőzött kávék mérési eredményei között 95 %-os konfidenciaszinten nem volt szignifikáns különbség ($p > 0,05$).

5.2. A főzés hatása az akrilamid tartalomra

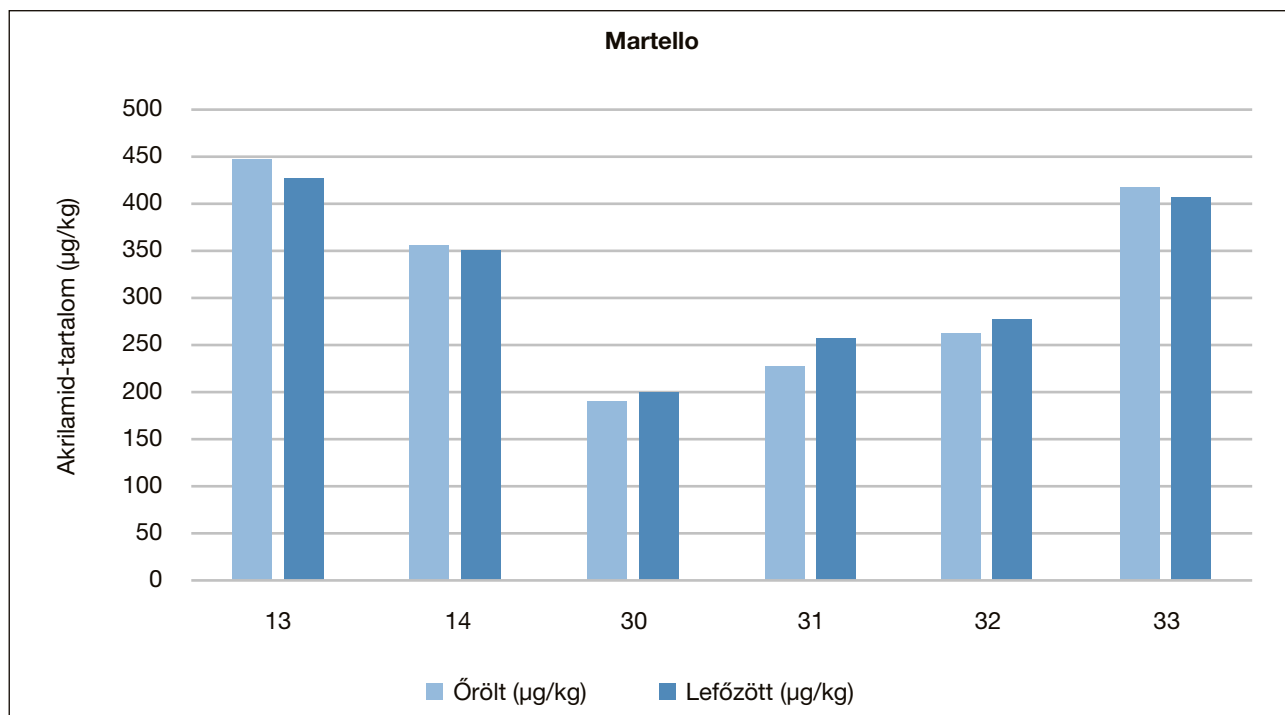
Célom volt annak vizsgálata is, hogy milyen mértékben változhat az akrilamid tartalom az őrölt és a lefőzött kávékban attól függően, hogy a főzést melyik kávégéppel végeztem. Így arra kerestem választ, hogy a kávégépek eltérő hatásfokkal dolgoznak-e. Egyik kávégép esetében sem volt szignifikáns különbség a kapszulák és a lefőzött kávék között ($p > 0,05$).

Az eredmények azonban azt mutatták, hogy a Martello típusú kapszulák esetén mind a lefőzött, mind az őrölt kávék mért értékei magasabb tartományba estek, mint a többi típus eredményei.

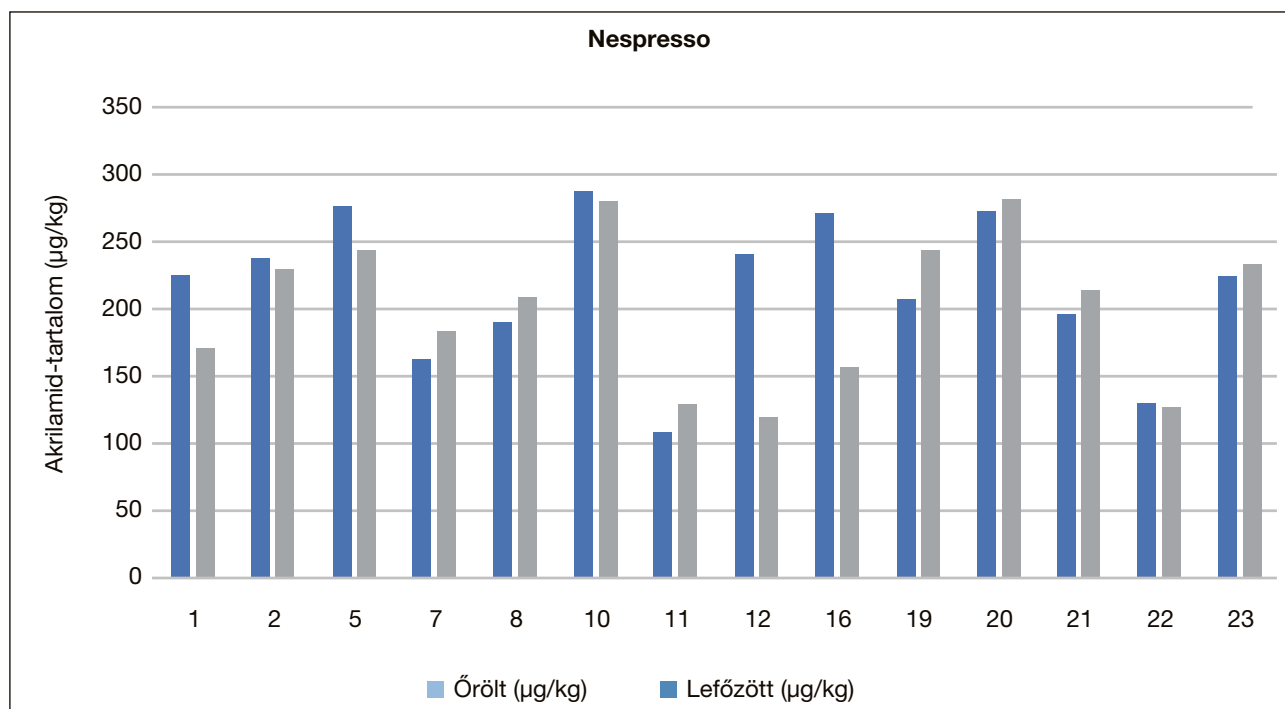
A Martello típusnál ez a tartomány 200-450 µg/kg (**2. ábra**), míg a többinél 100-250 µg/kg körüli értékek voltak a jellemzőek (például a Nespresso esetén, lásd **3. ábra**).

Megállapítottam, hogy a Martello típusú kávégépekhez gyártott kapszulák olyan kávéőrleményeket tartalmaztak, amelyeknek jellemzően magasabb az akrilamid-tartalma. A vizsgált Martello típusú kapszulás kávék Robusta vagy keverék kávékat tartalmaztak, ezzel magyarázható a magasabb akrilamid tartalom, hiszen a Robusta típusú kávék akrilamid-szintje magasabb, mint az Arabica fajtáké. Az egyik Martello típusú kávékapszula pörkölt mogyorós ízesítésű volt, ez szintén hozzájárulhatott a magasabb eredményhez.

Mérési eredményeim alapján elmondható, hogy a kávégépek hatása között nem volt szignifikáns különbség. Mivel azonban a Martello típusú kávékapszula alapján véve magasabb akrilamid tartalmú kávéőrleményt tartalmaz – összevetve a többi típusal – szignifikáns eltérést okozott a kapszulában található őrölt kávék mérési eredményei között.



2. ábra. Martello kávégéppel lefőzött kávéitalok mérési eredményei



3. ábra Nespresso kávégéppel lefőzött kávéitalok mérési eredményei

5.3. A pörkölés hatása az akrilamid tartalomra

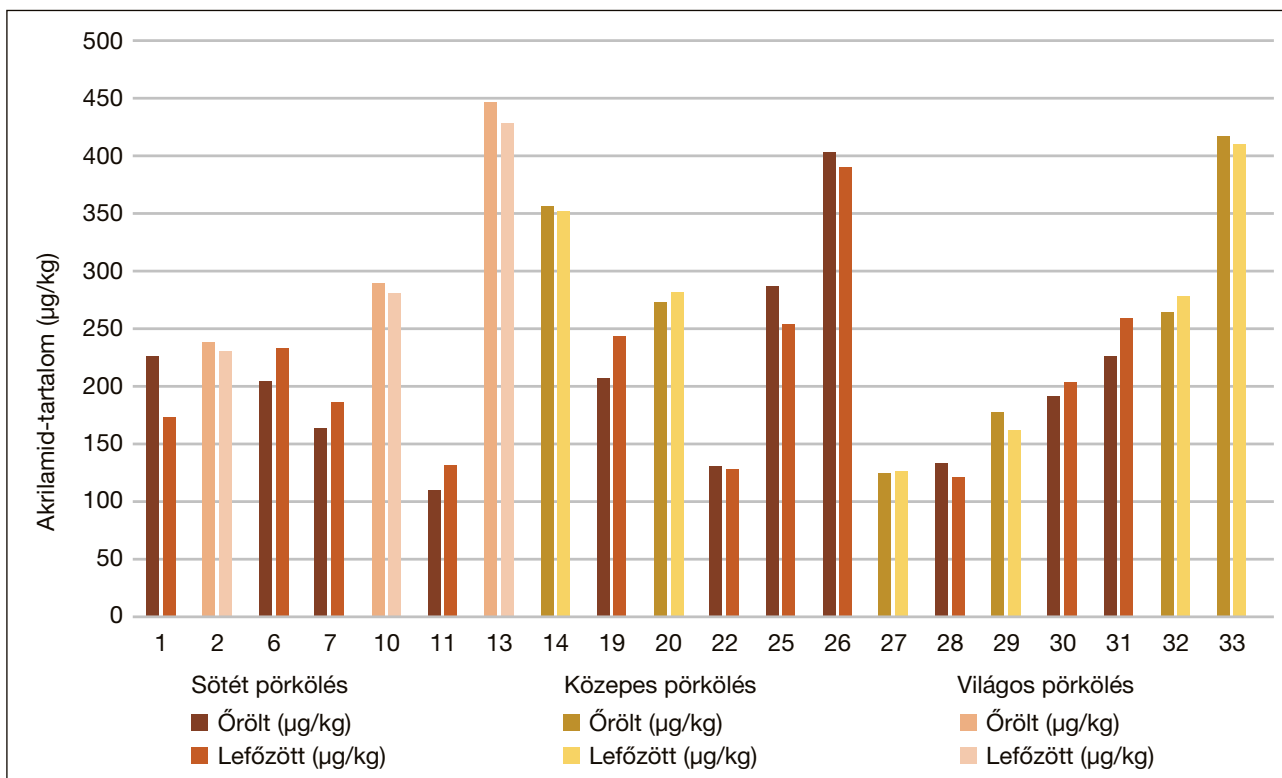
Vizsgáltam azt is, hogy a különböző pörkölési szintek hogyan befolyásolják a képződött akrilamid mennyiségét. A **3. táblázatban** a pörkölési szintek szerint csoportosítottam a kávémintákat. Az őrölt és a lefőzött mintákat külön színárnyalattal jelöltem. A **4. ábrán** láthatók a mért akrilamid-mennyiségek a különböző pörkölési szinteknek megfelelően. A világos pörkölésű minták jellemzően magasabb vagy hasonló eredményt hoztak, mint a sötét pörkölésű kávék. A szakirodalom szerint a sötét pörkölésű kávék akrilamid szintje alacsonyabb, mint a világos pörkölésű kávéké, ez az eredményeken is látható.

Statisztikai elemzéseket végezve azonban megállapítottam, hogy a képződött akrilamid mennyiségét tekintve 95 %-os konfidenciaszinten nem volt szignifikáns különbség a pörkölési szintek között sem az őrölt, sem a lefőzött kávék eredményei esetén ($p > 0,05$).

Az elemzéseket az egyes kávégépekre is elvégeztem, hiszen a különböző gépekkel lefőzött kávék mért értékei jellemzően más-más tartományba estek, így ez a csoportosítás pontosabb összehasonlítást eredményez. A pörkölési szintek között azonban így sem volt szignifikáns különbség.

3. táblázat. Kávéminták pörkölési szintjei (a színárnyalatok feloldását lásd a 4. ábrán)

	Világos pörkölés	Közepes pörkölés	Sötét pörkölés
Sorszám	2, 10, 13	14, 20, 27, 29, 32, 33	1, 6, 7, 11, 19, 22, 25, 26, 28, 30, 31



4. ábra. Kávéminták akrilamid-szintjei a pörkölési szintek szerint

5.4. Koffeintartalmú és koffeinmentes kávék eredményei

A koffeinmentes kávék előállítása egymástól számottevően eltérő technikával történik, ezért a koffeintartalmú és a koffeinmentes kávék akrilamid-tartalmának eredményeit is összehasonlítottam. A koffeinmentes kávék mért értékei hasonló tartományba estek, mint a koffeintartalmú minták értékei. Megállapítottam, hogy akrilamid-tartalom tekintetében nem volt jelentős különbség a különböző típusú minták között.

Ennek igazolására ANOVA elemzéseket végeztem mind az őrölt, mind a lefőzött kávék eredményeit vizsgálva. 95 %-os konfidenciaszinten egyik esetben sem volt szignifikáns különbség a típusok között ($p > 0,05$).

6. Következtetések

Irodalmi adatok alapján feltételeztem, hogy a kapszulás kávékból főzött italok akrilamid-tartalma magasabb, mint a kapszulából kinyert őrölt kávé akrilamid-tartalma. Méréseim alapján úgy találtam, hogy az őrölt kávék akrilamid-tartalma átlagosan magasabb, vagy esetenként hasonló volt, mint a lefőzött kávék akrilamid-szintje. Néhány esetben viszont valóban a lefőzött kávékban volt több az akrilamid mennyisége. Statisztikai számítások alapján azonban az eredmények közötti különbség nem volt szignifikáns. Ezen eredmények alapján a szakirodalom állításait nem sikerült egyértelmű módon igazolni.

Eredményeim alapján elmondható, hogy a lefőzött kávék és az őrölt kávé párjaik között egyik kávé gép esetén sem volt szignifikáns különbség a mért akrilamid-mennyiség tekintetében. Megállapítottam, hogy a Robusta típusú kávék akrilamid-szintje magasabb, mint az Arabica fajtáké. A vizsgált Martello típusú kapszulás kávék Robusta vagy keverék kávé tartalmaztak, így magyarázható azok nagyobb akrilamid-tartalma.

A világos pörkölésű minták jellemzően magasabb vagy hasonló mennyiségű akrilamid-tartalmat eredményeztek, mint a sötét pörkölésű kávék. A pörkölési szintek között sem az őrölt, sem a lefőzött kávék eredményei esetén nem volt szignifikáns különbség.

Megállapítottam, hogy nem volt jelentős különbség a koffeintartalmú és a koffeinmentes kávé minták között. A koffeinmentesítési eljárások nem befolyásolják számottevően a kávé akrilamid-tartalmát.

7. Irodalom

- [1] Acrylamide. <https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/06/mono60-16.pdf> (Hozzáférés: 2020. 01. 27.)
- [2] Akrilamid. <https://hu.wikipedia.org/wiki/Akrilamid> (Hozzáférés: 2020. 01. 27.)
- [3] Löfstedt R. E. (2003): Science Communication and the Swedish Acrylamide “Alarm”. *Journal of Health Communication*, 8 pp. 407–432. <https://doi.org/10.1080/713852123>
- [4] Mottram, D. S., Wedzicha, B. L., Dodson, A. T. (2002): Acrylamide is formed in the Maillard reaction. *NATURE*, Vol. 419. <https://doi.org/10.1038/419448a>
- [5] Sörgel, F., Weissenbacher, R., Kinzig-Schippers, M., Hofmann, A., Illauer, M., Skott, A., Landersdorfer, C. (2002): Acrylamide: increased concentrations in homemade food and first evidence of its variable absorption from food, variable metabolism and placental and breast milk transfer in humans. S. Karger AG, Basel 0009 3157/02/0486–0267. <https://doi.org/10.1159/000069715>
- [6] Parzefall, W. (2008): Minireview on the toxicity of dietary acrylamide. *Food and Chemical Toxicology* 46 pp. 1360–1364. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.08.027>
- [7] Guenther, H., Anklam, E., Wenzl, T., Stadler, R. H. (2007): Acrylamide in coffee: review of progress in analysis, formation and level reduction. *Food Additives & Contaminants*, 24 Sup 1, pp. 60-70. <https://doi.org/10.1080/02652030701243119>
- [8] Alves, R. C., Soares, C., Casal, S., Fernandes, J.O., Oliveira, M. Beatriz P.P. (2010): Acrylamide in espresso coffee: influence of species, roast degree and brew length. *Food Chemistry* 119 pp. 929–934. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.07.051>

Acrylamide content of commercially available capsule coffees

Keywords: Acrylamide, carcinogenic, toxic compound, asparagine, Maillard reaction, capsule coffee, orol coffee, powdered coffee, robusta, arabica, effect of powdering processes, caffeinated and decaffeinated coffee, LC-MS/MS

1. SUMMARY

The consumption of capsule coffees is becoming more and more common in everyday life. Today, a number of studies support the fact that there are benefits of consuming the right amount of coffee. Despite its beneficial effects, there are also disadvantages to drinking coffee. For example, the acrylamide found in roasted coffee, which is formed during the process of roasting, poses a health risk. Acrylamide has been classified by the International Agency for Research on Cancer (IARC) as a Group 2A substance, i.e., as an agent which is probably carcinogenic to humans [1]. The technological parameters of the roasting process affect the amount of acrylamide formed in the product. Light roasted coffees contain higher levels of this compound than dark roasted coffees.

Numerous studies have been conducted to investigate the acrylamide content of ground coffee products, however, capsule coffees have not yet received similar attention in this respect. In my study, the acrylamide content of various types of commercially available capsule coffees was investigated by HPLC-MS/MS measurements. Decaffeinated coffees are produced using a different technology, so some of these types were also tested.

¹ National Food Chain Safety Office, Food Chain Safety Laboratory Directorate, National Analytical Reference Laboratory

2. Introduction

2.1. Acrylamide, its formation and effects

Acrylamide is an organic compound with the molecular formula C_3H_5NO . Its IUPAC name is prop-2-enamide. It is a low molecular weight, odorless, white solid which is highly soluble in water but also soluble in organic solvents. It is used in industry in the production of polyacrylamides, which are used as water-soluble thickeners and flocculants. It is a highly toxic compound therefore it is mainly handled in the form of an aqueous solution [2].

Acrylamide is a human neurotoxin, classified by the International Agency for Research on Cancer (IARC) as a Group 2A substance, i.e., as an agent which is probably carcinogenic to humans [1]. Acrylamide has been used in many industrial processes since the 1950s. An announcement was issued by the Swedish National Food Administration on April 24, 2002, about the discovery that it is formed as a byproduct in heat-treated foods with a high carbohydrate content [3] and can therefore be detected mainly in snack foods, potato chips, breads, cereal products and coffee. Following the discovery, more and more studies were launched to detect acrylamide content. An increasing number of researchers are looking for the answer to the question how it is formed in different foods.

Mottram et al. have conducted extensive studies on the formation of acrylamide from amino acids and reducing sugars during heat treatment as a result of the Maillard reaction. Asparagine, the amino acid most abundant in potatoes and cereals, has been found to contribute greatly to acrylamide formation. During baking and roasting, products of the Maillard reaction are responsible for the formation of flavor and aroma substances and the development of color. Strecker degradation of the amino acids also occurs at this time, during which amino acids are decarboxylated and then deaminated to form aldehydes. An outline of the process is shown in **Figure 1** [4].

According to several studies, acrylamide is toxic because it forms adducts with compounds found in hemoglobin and also reacts with important functional proteins and DNA. Glycidamide, a metabolite of acrylamide, reacts similarly with hemoglobin as well [5].

The area most studied is related to the neurotoxic properties of acrylamide, since these can be observed in both humans and animals. Observations have been made in a variety of laboratory animals, including cats, rats, mice, rabbits and monkeys. After administration of 0.5 to 50 mg acrylamide/kg/day, limb movement disorders and muscle weakness could be observed in all animals [6].

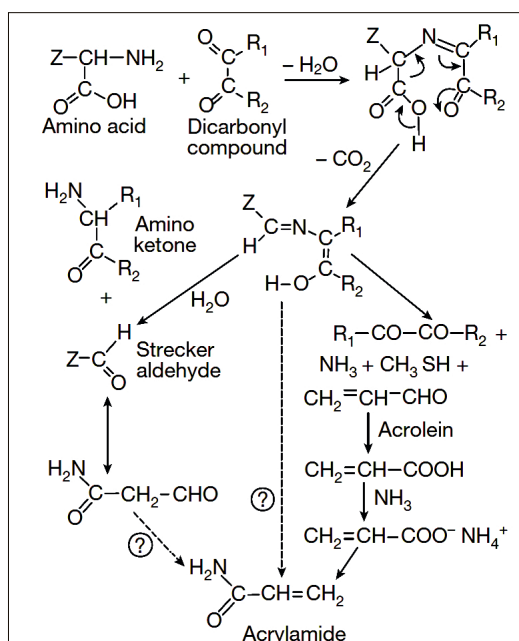


Figure 1. Outline of acrylamide formation [4]

2.2. Acrylamide in coffee

The acrylamide content of coffee is formed during roasting. In an extensive study, Guenther et al. found that it is produced in the highest amount (more than 7 mg/kg) during the initial stage of roasting, and then the amount decreases towards the end of the process. Towards the end of the roasting cycle, acrylamide is increasingly eliminated, with both physical and chemical losses [7].

Kinetic models and other experiments with isotopically labeled acrylamide have shown that more than 95% of the acrylamide formed is degraded during the entire roasting process. This means that the acrylamide content of lightly roasted coffees with a shorter roasting cycle is much higher than that of dark roasted beans [7].

The authors of the study also explained that green coffee beans contain very low concentrations of asparagine (0.2–1.0 g/kg), which is only negligibly higher in the case of Robusta species. Thus, it was found that the amount of asparagine and the acrylamide concentration showed a weak correlation, and even no correlation was found in Robusta beans. This is due to the fact that the rate of acrylamide loss far exceeds the rate of its formation [7].

Alves et al. studied how the acrylamide content in brewed espresso coffee changes, as in their opinion it most often enters consumers' body in this form. Acrylamide is highly soluble in water, so it is extracted easily from coffee during brewing. The chemical properties of brewed coffee are influenced by many factors, such as the type of coffee (Arabica, Robusta, or a certain mixture of the two), the degree of roasting, or the amount of water used to make a given amount of coffee, which varies by individual taste. According to some studies the acrylamide content of different coffee beverages ranged from 2 to 25 µg/l [8].

3. Objective

The main objective of my work was to investigate the acrylamide content of different types of capsule coffees by HPLC-MS/MS measurement.

Based on literature data, it was assumed that the acrylamide content of beverages brewed from capsule coffees is higher than the acrylamide content of the ground coffee extracted from the capsules, as it dissolves easily in the water during brewing. The goal was to examine and confirm this with the measurements.

Another objective was to compare different coffee machines. Coffee machines have different parameters (e.g., temperature, pressure, amount of water used), which may affect the amount of acrylamide released from capsule coffees.

Literature data are also available showing how the roasting technology of coffee affects the acrylamide content in the final product. The acrylamide content of so-called light-roasted coffees, roasted for a shorter period of time, is higher than that of dark-roasted coffees, roasted for a longer period of time. This influencing factor was also checked.

Given that decaffeinated coffees are produced by a different technology, some of these types were also examined.

4. Materials and methods

4.1. Chemicals, equipment and instruments used

During my work, analytical grade chemicals, HPLC grade solvent (methanol, acetic acid (anhydrous), n-hexane) and distilled water were used, as well as the following: acrylamide and 10 µg/ml acrylamide-¹³C₃ as internal standard.

In addition to standard laboratory equipment, Biotage ISOLUTE® Multimode 1g/6ml and Biotage ISOLUTE® ENV+500mg/6ml SPE columns were used for sample preparation. For coffee brewing from capsule coffees, the following coffee machines were used: Nespresso Essenza Mini, Krups KP120H31, Tchibo Caffissimo and Martello Smart.

Instrumental analysis of the samples were performed on a Thermo Scientific™ Dionex UltiMate™ 3000 HPLC system with a Phenomenex Kinetex® C18 2.6 µm 100 Å 150x4.6 mm column and a Thermo Scientific™ TSQ Quantis™ triple quadrupole MS detector.

4.2. Sample preparation

Sample preparation and the measurements were carried out as described in standard MSZ EN 16618:2015 Food analysis. Determination of acrylamide in food by liquid chromatography tandem mass spectrometry (LC-ESI-MS/MS).

The samples obtained from commercial sources were caffeinated (25 pcs) and decaffeinated (8 pcs) of capsule coffees from different manufacturers. Measurements were performed on both the ground coffee in the capsules and the brewed coffees. **Table 1** shows the sample nos. of the examined coffees and the coffee machines used.

Table 1. Coffees and coffee machines

Coffee type	Nespresso	Dolce Gusto	Caffissimo	Martello
Sample nos. of caffeinated coffees	1, 5, 7, 8, 10, 16, 20, 21, 23	3, 4, 6, 9, 15	17, 25, 26, 27, 28, 29	13, 30, 31, 32, 33
Sample nos. of decaffeinated coffees	2, 11, 12, 19, 22	24	18	14

IBM SPSS Statistics software was used for the statistical evaluation of the results.

5. Results

5.1. Acrylamide content

Acrylamide content measurement results of the coffee samples are summarized in **Table 2**. Both the results measured in the ground coffees and the results of the corresponding brewed coffees are listed.

Table 2. Measurement results

Sample no.	Ground ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Brewed ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Sample no.	Ground ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Brewed ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
1	224.0	170.7	18	215.1	205.9
2	237.7	230.0	19	205.6	242.2
3	176.6	184.1	20	271.1	279.9
4	168.8	179.4	21	195.7	212.6
5	274.8	243.0	22	128.8	126.5
6	201.6	231.9	23	223.1	231.7
7	161.6	183.8	24	203.8	198.3
8	189.7	207.4	25	284.9	250.2
9	231.2	232.4	26	399.8	389.9
10	287.9	280.3	27	121.4	124.2
11	107.0	128.7	28	130.2	119.0
12	240.3	118.6	29	174.3	159.4
13	446.5	427.4	30	189.8	200.2
14	353.7	351.0	31	224.9	255.6
15	204.9	221.6	32	263.3	276.2
16	270.7	156.1	33	416.2	407.9
17	274.0	240.0			

The results obtained were not in all cases in line with the reference level of 400 $\mu\text{g}/\text{kg}$ for roasted coffee set out in Commission Regulation (EU) 2017/2158, as the acrylamide content of some caffeinated samples (nos. 13 and 33) exceeded this level. It is likely that the higher acrylamide level in the case of coffee sample no. 13 was due to the fact that the sample contained Robusta coffee with a higher intensity of acrylamide formation, according to the literature. The result of sample no. 33 can be explained by the fact that it was a hazelnut-flavored mixture. Given that a Robusta variety was added to the Arabica coffee variety, this may have been the reason for the higher results, to which the roasted hazelnut flavor could also have contributed. On average, the acrylamide content of the ground coffees was higher, or in some cases almost identical to the results of the brewed coffees. There were also samples in the case of which the brewed coffees contained more acrylamide than the ground coffees, but most of these values were within the 10% measurement uncertainty.

Based on my statistical (ANOVA) calculations, there was no significant difference between the measurement results of ground and brewed coffees at the 95% confidence level ($p > 0.05$).

5.2. Effect of brewing on acrylamide content

My objective was to investigate the extent to which the acrylamide content in ground and brewed coffees could vary depending on which coffee machine was used for brewing. Thus, I was looking to answer whether the coffee machines worked with different efficiencies. There was no significant difference between capsule and brewed coffees for any of the coffee machines ($p > 0.05$).

However, the results showed that, in the case of Martello type capsules, the measured values of both brewed and ground coffees were in a higher range than the results of the other types.

For the Martello type, this range was between 200 and 450 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (**Figure 2**), while for the other types (for example, for Nespresso, see **Figure 3**), typical values were between 100 and 250 $\mu\text{g}/\text{kg}$.

It was found that capsules made for Martello type coffee machines contained ground coffees that typically had a higher acrylamide content. The Martello type capsule coffees tested contained Robusta coffee or a mixture of Robusta and Arabica, which explains the higher acrylamide content, as Robusta-types coffees have higher acrylamide levels than Arabica varieties. One of the Martello type coffee capsules was roasted hazelnut flavored, which also may have contributed to the higher result.

Based on my measurement results, it can be stated that there was no significant difference between the effects of the different coffee machines. However, as the Martello type coffee capsules, on the whole, contains ground coffee with a higher acrylamide concentration compared to the other types, it caused a significant difference between the measurement results of the ground coffees in the capsules.

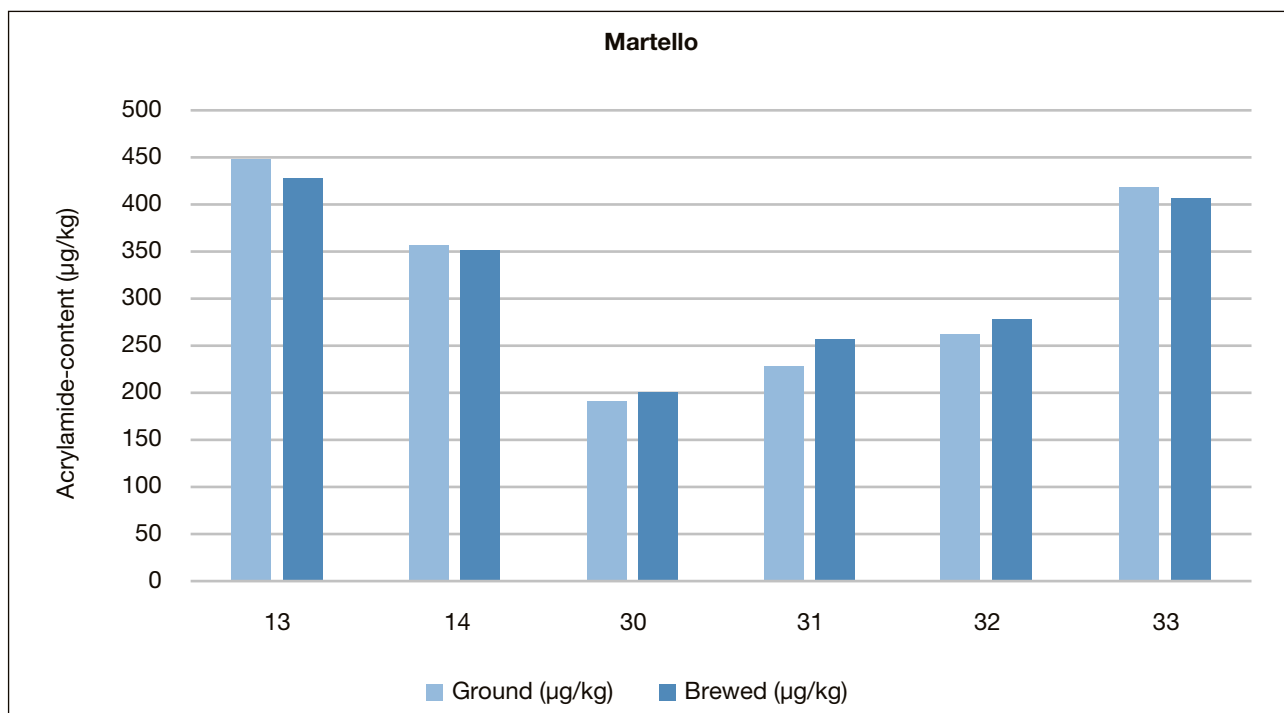


Figure 2. Measurement results of coffee beverages brewed with a Martello coffee machine

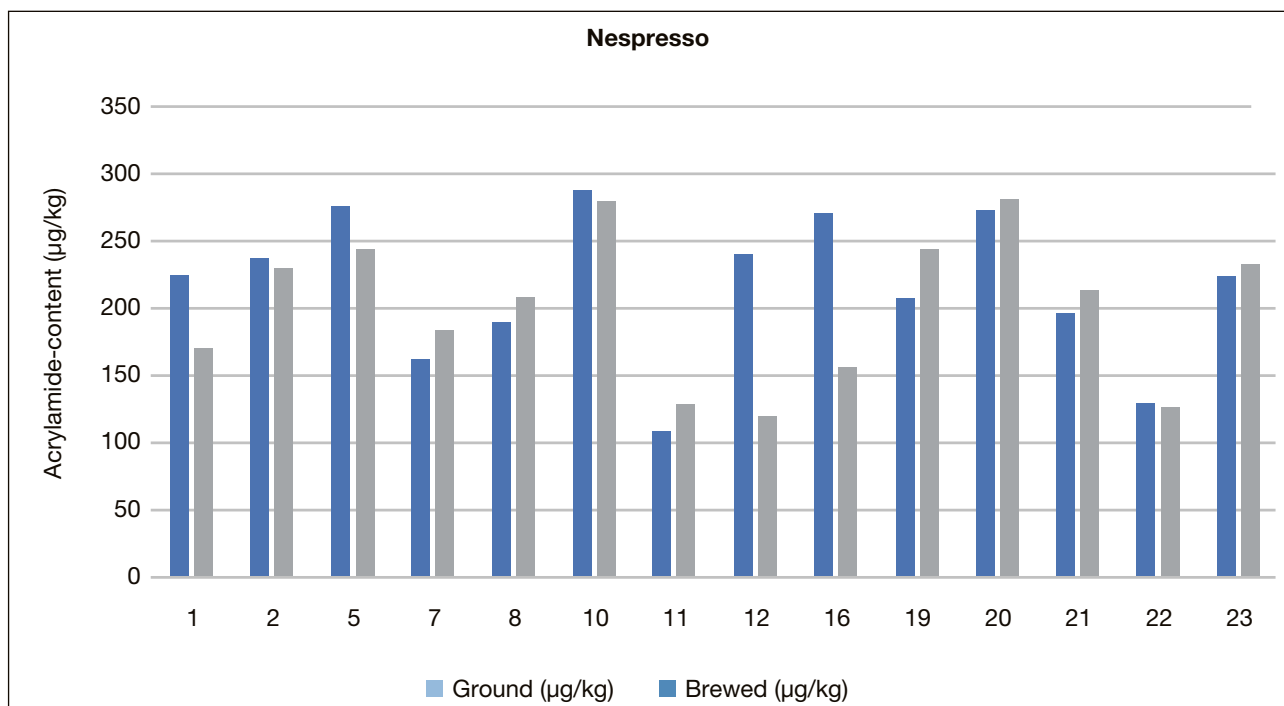


Figure 3. Measurement results of coffee beverages brewed with a Nespresso coffee machine

5.3. Effect of roasting on acrylamide content

It was also examined how different roasting levels affect the amount of the acrylamide formed. In **Table 3**, coffee samples are grouped according to roasting levels. The ground and brewed samples were marked with separate hues. **Figure 4** shows the measured acrylamide amounts according to the different roasting levels. Light roasted samples typically yielded similar of higher results than dark roasted coffees. According to the literature, acrylamide levels of dark roasted coffees are lower than those of light roasted coffees, and this was confirmed by our results.

However, when performing statistical analyses, it was found that there was no significant difference in the amount of acrylamide formed between the results of either ground or brewed coffees at the 95% confidence level ($p > 0.05$).

The analyses were also performed for the different coffee machines, as the measured values of the coffees brewed with the different machines were typically in different ranges, so this grouping results in a more accurate comparison. However, there was no significant difference between the roasting levels this way either.

Table 3. Acrylamide levels of coffee samples according to roasting levels (see Figure 4. for resolution of hues)

	Light roast	Medium roast	Dark roast
Sample no.	2, 10, 13	14, 20, 27, 29, 32, 33	1, 6, 7, 11, 19, 22, 25, 26, 28, 30, 31

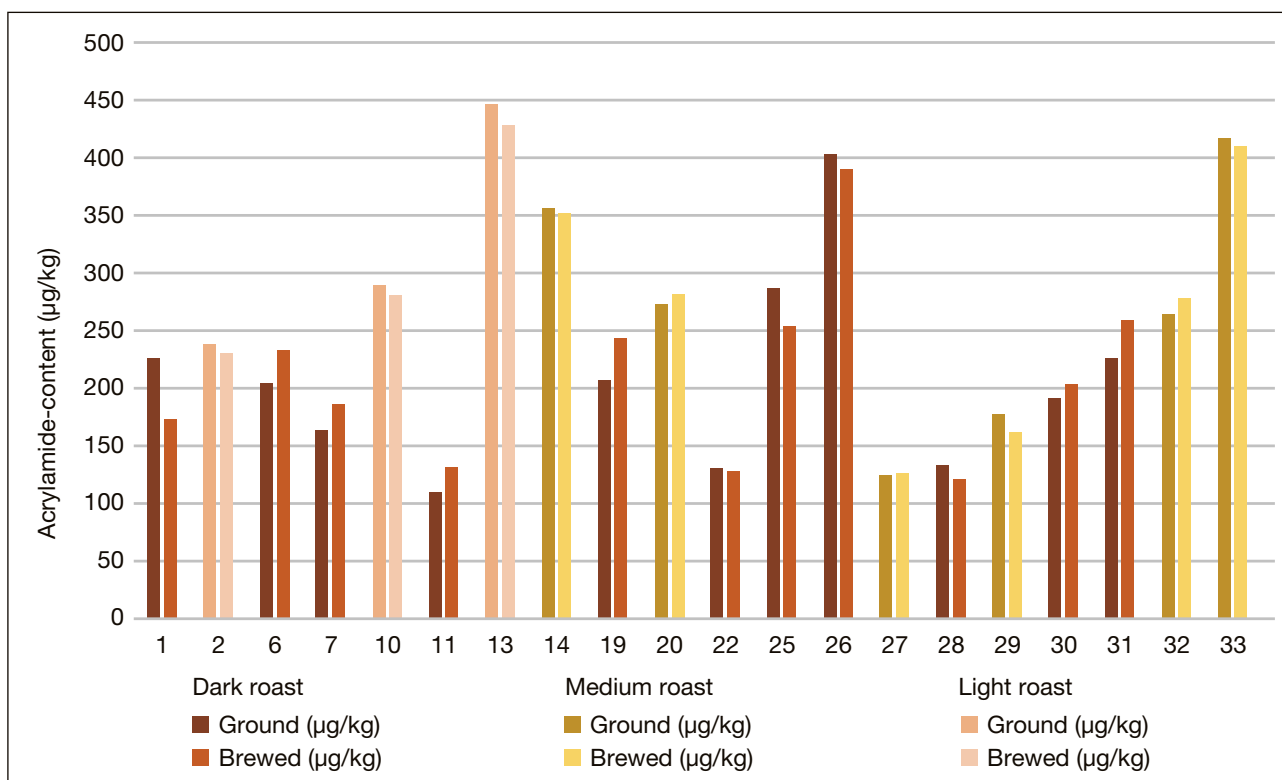


Figure 4. Acrylamide levels of coffee samples according to roasting levels

5.4. Results of caffeinated and decaffeinated coffees

Significantly different techniques are used for the production of decaffeinated coffees, therefore the acrylamide content results of caffeinated and decaffeinated coffees were also compared. The measured values of decaffeinated coffees were in a similar range as the values of caffeinated samples. It was found that there was no significant difference between the different types of samples in terms of acrylamide content.

To confirm this, ANOVA analyses were performed when examining the results of both ground and brewed coffees. At the 95% confidence level, there was no significant difference between the types in either case ($p > 0,05$).

6. Conclusions

Based on literature data, it was hypothesized that the acrylamide content of the beverages brewed from capsule coffees was higher than the acrylamide content of the ground coffee extracted from the capsules. Based on my measurements, it was found that the acrylamide content of the ground coffees was on average higher than or in some cases similar to the acrylamide levels of the brewed coffees. However, in some cases, brewed coffees did contain more acrylamide. Nevertheless, based on statistical calculations, the difference between the results was not significant. Based on these results, the claims in the literature could not be substantiated unequivocally.

Based on my results, it can be stated that there was no significant difference between the brewed coffees and their ground coffee counterparts in the case of any of the coffee machines in terms of the measured amount of acrylamide. It was found that the acrylamide levels of Robusta type coffees are higher than those of Arabica varieties. The Martello type capsule coffees contained Robusta coffee or a mixture of both, which may explain their higher acrylamide content.

Light roasted samples typically yielded similar or higher acrylamide content results than dark roasted coffees. There was no significant difference in the results of either ground or brewed coffees between the roasting levels.

It was found that there was no significant difference between caffeinated and decaffeinated coffee samples. The acrylamide content of coffee is not significantly affected by the decaffeination processes used.

7. References

- [1] Acrylamide. <https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/06/mono60-16.pdf> (Acquired: 2020. 01. 27.)
- [2] Akrylamid. <https://hu.wikipedia.org/wiki/Akrylamid> (Acquired: 2020. 01. 27.)
- [3] Löfstedt R. E. (2003): Science Communication and the Swedish Acrylamide “Alarm”. *Journal of Health Communication*, 8 pp. 407–432. <https://doi.org/10.1080/713852123>
- [4] Mottram, D. S., Wedzicha, B. L., Dodson, A. T. (2002): Acrylamide is formed in the Maillard reaction. *NATURE*, Vol. 419. <https://doi.org/10.1038/419448a>
- [5] Sörgel, F., Weissenbacher, R., Kinzig-Schippers, M., Hofmann, A., Illauer, M., Skott, A., Landersdorfer, C. (2002): Acrylamide: increased concentrations in homemade food and first evidence of its variable absorption from food, variable metabolism and placental and breast milk transfer in humans. S. Karger AG, Basel 0009 3157/02/0486–0267. <https://doi.org/10.1159/000069715>
- [6] Parzefall, W. (2008): Minireview on the toxicity of dietary acrylamide. *Food and Chemical Toxicology* 46 pp. 1360–1364. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.08.027>
- [7] Guenther, H., Anklam, E., Wenzl, T., Stadler, R. H. (2007): Acrylamide in coffee: review of progress in analysis, formation and level reduction. *Food Additives & Contaminants*, 24 Sup 1, pp. 60-70. <https://doi.org/10.1080/02652030701243119>
- [8] Alves, R. C., Soares, C., Casal, S., Fernandes, J.O., Oliveira, M. Beatriz P.P. (2010): Acrylamide in espresso coffee: influence of species, roast degree and brew length. *Food Chemistry* 119 pp. 929–934. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.07.051>

Élelmiszerek ásványi anyag tartalma – Alumínium az élelmiszerekben

Kulcsszavak: makroelem, mezoelem, mikroelem, alumínium-vegyületek, foszforhiány

1. ÖSSZEFOGLALÁS

Kéziratomban tárgya az alumínium, amely a növényekben – bár nem esszenciális elem – jelentős mennyiségben fordulhat elő. A teacserje pl. kifejezetten Al-gyűjtő növény. A növények Al-tartalma jelentősen függ a talaj pH-értékétől, erősen savas talajokon jelentős lehet a talajvíz Al-tartalma s ez P-hiányt eredményezhet. A táplálékkal felvett Al mennyisége döntően függ a fogyasztott növényi és állati termékek arányától. Az állati eredetű élelmiszerek Al-koncentrációja az alumínium-vegyületek rossz felszívódási jellemzői miatt jelentősen kisebb, így például a tejbe is csak nagyon kevés alumínium választódik ki. A makroelemeket követően az alumínium az a fémes mikroelem, ami többnyire a legnagyobb mennyiségben kerül az emberi szervezetbe, kb. 30-50 mg naponta. A túlzott Al-felvétel különböző egészségügyi rendellenességek forrása lehet, s összefügghet pl. az Alzheimer-kór kialakulásával, az időskori demenciával is (az alumínium-felvétel és az Alzheimer-kór összefüggését számos szakirodalmi forrás vitatja; a Szerk.).

¹ Élelmiszerfizikai Alapítvány

2. Bevezetés

Az ásványi anyagok témakörét ismertető cikksorozat előző részének témája [1] a toxikus nyomelemnek tekinthető az ozmium volt. Ez a kézirat a biológiai jelentőséggel nem rendelkező nyomelem az alumíniummal foglalkozik. Bizonyos tekintetben kérdéses lehet, hogy egyáltalán létezik-e olyan elem, amelynek nincsen biológiai jelentősége. A „határ” a biológiai jelentőséggel rendelkező és nem rendelkező elemek között nem éles, hiszen Paracelsus (1493-1541) óta köztudott, hogy elvileg minden anyag – így minden minden mikroelem esetében is – toxikus lehet, s a hatás mértéke csupán annak koncentrációjától illetve felvett mennyiségétől függ.

Pais [2] az alumíniumot a részleges biológiai hatású mikroelemek közé sorolja. Szerinte a biológiai hatással nem rendelkező mikroelemek között lényegében azok a mikroelemek tárgyalhatók, amelyek az emberi szervezet számára valószínűleg nem létfontosságúak nincs ismert biológiai funkciójuk, ugyanakkor a koncentrációjuk vagy nagyon kicsi – s ennek következtében gyakorlatilag nincs kimutatható biológiai-életteni hatásuk – vagy a koncentrációjuk ugyan nem alacsony, de a kérdéses mikroelem (ill. vegyületei) csak nagyon gyengén toxikus hatásúak, azaz csak extrém nagy mennyiségek esetén jelentkezik a mérgező vagy a fiziológiai folyamatokat gátló, egészségkárosító hatás. Éppen a rendelkezésre álló ismeretek korlátaiból adódóan – pl. az alkalmazott analitikai méréstechnikák kimutatási ill. kvantitatív meghatározási határaiból adódóan – nem kizárt, hogy a későbbiekben esetleg néhány olyan nyomelemről is bizonyított lesz a létfontosság, amelyet ma ebbe a csoportba sorolunk [3]. Mivel az esszencialitás esetében lényegében arról van szó, hogy az adott nyomelem bizonyos enzimek alkotórésze vagy aktivátora, a nagyon kis koncentrációban előforduló elemeket tekintve a bizonyítás nem könnyű feladat, főleg akkor nem, ha az adott elem természetes viszonyok mellett az életteni szükségletet mindig elérő koncentrációban fordul elő a környezetben, s ezáltal hiánytünet nem jelentkezik. A határérték elvileg akár sejtenként egy atom is lehet, hiszen lehet, hogy a kérdéses sejtben (mint az élő anyag anatómiai és funkcionális egysége) csak egy olyan élettanilag szükséges molekula van, aminek alkotórésze a kérdéses elem egy atomja. Ez pedig a mezőgazdasági termékek, élelmiszerek esetében a mikroelem-analitikában általában megszokott ppm (mg/kg) ill. ppb (ng/g) szinteknél akár nagyságrendekkel kisebb előfordulási arányt is jelenthet.

3. Az alumínium életteni szerepe

Az alumínium a földkéregben a legnagyobb arányban (7,5 %) előforduló fém, az oxigén s a szilícium után a leggyakoribb elem. Legnagyobb része alumíniumszilikát ásványokban (pl. andaluzit) és földpátokban (pl. ortoklász) található, de ismertek oxidos (pl. korund) és hidroxidos (pl. hidrargillit) ásványai is. A bauxit egyébként nem ásvány, hanem üledékes kőzet, ami főleg böhmitet és hidrargillitet tartalmaz. Az alumínium a talajokban 0,2-20 % gyakorisággal fordul elő, átlagos koncentrációja a tengervízben 0,002 mg/liter, a felszíni édesvizekben pedig 0,3 mg/liter [4, 5].

Bár a biológiai eredetű anyagokban (főként növényekben) az Al viszonylag nagy koncentrációban fordul elő, biológiai funkciója – jelenlegi ismereteink szerint – nincs. Mezőgazdasági szempontból azonban – a növények tápanyagellátottsága, elsősorban P-ellátottsága oldaláról nézve döntő jelentőségű elem. Az alumínium valószínűleg nem létfontosságú elem, életteni-biológiai funkciója nincs, ill. nem ismert. Ennek Kőrös [6] szerint fő oka az, hogy az alumínium fiziológiás kémhatású rendszerekben (kb. pH=7) között nem ionos állapotú, már sokkal alacsonyabb pH-n az alumínium hidroxo-polimerek formájában kicsapódik az oldatból, s mivel ezt a csapadékot a komplexképzők legnagyobb része nem tudja feloldani, ezért az alumínium nem tud oldatba kerülni. Az alumínium redox reakciókban nem vesz részt, vizes oldatban csak +3 oxidációs állapotban lehet jelen. Ebből az következik, hogy az alumínium sem metalloenzimek, sem fémaktiválta enzimek komponense nem lehet, s mobilis ionként sem szerepelhet. Az élő szervezetekben jelentős mennyiségben megtalálható oldhatatlan foszfátok alkotórészévé sem válhatott, hiszen erre a szerepre a biológiai evolúció a biológiai rendszerek számára sokkal könnyebben hozzáférhető kalciumot választotta ki.

Az utóbbi 2-3 évtizedben számos tudományos publikáció foglalkozik az alumínium kémiai-biokémiai szerepével a táplálékláncban, a kölcsönhatásokkal (elsősorban fluor és foszfor vonatkozásában), az esetleges toxikus hatások kérdésével, a környezetszennyezés, az alumínium-felhasználás s a táplálékkal és egyéb úton (pl. gyógyszerek) bevitt alumínium jelentőségével, biológiai szerepével, hasznosulásával, negatív kihatásával. Egyes szerzők úgy vélik, hogy optimális koncentrációban az alumíniumnak stimulatív szerepe is van ill. lehet. Úgy vélem sok kérdés nem csupán megválaszolásra, de talán még felvetésre is vár.

Vannak szakemberek, akik újabban inkább a vitatott életteni fontosságú elemek közé sorolják az alumíniumot, nem vetve el teljesen az esszencialitás lehetőségét sem, utalva azonban arra, hogy legfeljebb csak nagyon kis koncentrációban szükséges elem, s ezért hiánytünetek fellépése nem várható. A túl sok alumínium azonban biztos, hogy megzavarja a szervezet Ca-, P- és F-anyagcseréjét is. Pl. a fluor s az alumínium közötti antagonizmus következtében a fluor kiegészítés csökkenti az alumínium koncentrációját s esetleges káros hatását és fordítva.

4. Alumíniumforgalom az emberi szervezetben

Vegyes étrend mellett a napi Al-felvétel kb. 10-35 mg, az emberi testben lévő alumínium mennyisége pedig többnyire 50-120 mg közötti érték, s ez idősebb korban általában növekszik [7]. Más adatok [8] szerint a 70 kg-os átlagember testében akár 1,0 g körüli is lehet a tárolt Al mennyisége, s a napi felvétel pedig elérheti a 80 mg-ot is. A szerzők döntő többsége szerint egyébként 5 és 150 mg közötti az a tartomány, ami a napi Al-felvételt jelenti, ugyanakkor élelmiszerekből egyes hazai mérések [9] szerint csupán 0,3 és 19,4 mg közötti értékek adódtak. Természetesen az alumínium nem csupán a szilárd élelmiszerekből, hanem italokból, gyógyszerekből is származhat, sőt egy kisebb része belégzéssel jut a tüdőn keresztül a szervezetbe.

A szilárd élelmiszerekből és az italokból a makroelemeket követően a legnagyobb mennyiségben az alumínium és a szilícium jut az emberi tápcsatornába. Így – néhány más elemmel (pl. bróm, bór, esetleg vas, cink) együtt – az alumínium akár a mezoelemek csoportjába is sorolható lenne, hiszen előfordulási aránya az élelmiszerekben jelentősen (nagyságrendileg ill. akár több nagyságrenddel is) meghaladhatja a legtöbb nyomelem koncentrációját. Az alumínium-bevitel döntően függ attól, hogy növényi vagy inkább állati eredetű táplálékot fogyaszt-e a kérdéses egyén.

Az alumínium különböző vegyületei, sói az emberi szervezet számára gyakorlatilag nem mérgezőek, ami azzal függ össze, hogy az emésztőcsatornából csak kis mértékben szívódnak fel, s ezáltal döntően a széklettel ürülnek. A vizelettel ürülő alumínium mennyisége csak 0,1 mg/liter körüli érték. Az alumínium gyenge oldhatósága tette lehetővé az alumíniumból készült edények, technológiai berendezések élelmiszeripari, konyhatechnikai alkalmazását. Azt azonban célszerű figyelembe venni, hogy pl. az alumínium-ionok éppúgy katalizálják a kérdéses élelmiszerben lévő C-vitamin tartalom lebomlását, mint pl. a rézionok. Kiválóan alkalmas az alumínium alufólia készítésére is, s így alkalmas a legkülönbözőbb élelmiszerek csomagolására.

Az inhaláció következtében a szervezetbe jutó alumínium egy része a tüdőben raktározódik, ezzel magyarázható, hogy az életkor előrehaladásával a tüdőszövetek Al-koncentrációja nő. A felvett alumínium egy része azonban felszívódik, az alumíniummal exponált dolgozók vizeletében mérhető Al-tartalmak 2-3-szorosan meghaladták a kontrol személyeknél mért értékeket. A tüdőn kívül a csont, a máj s a lép tartalmaz jelentősebb mennyiségű alumíniumot, s jól ismert tény, hogy az életkor előrehaladtával az agyállományban is nő az Al koncentrációja. Vesebetegeknél – a csökkent vesefunkció miatt – igen jelentős lehet az egyes szervekben az alumínium-depozíció. Az Al-terhelés egyébként másodlagos foszforhiányt is előidézhet [10].

5. Élelmiszerek alumínium tartalma

A különböző mezőgazdasági termékek, élelmiszeripari nyersanyagok és készételek Al-tartalmáról bőszeges irodalmi adatok állnak rendelkezésre [11, 12, 13, 14, 15, 16, 17]. Magyarországon a korábbi OÉTI (Országos Élelmiszer- és Táplálkozástudományi Intézet) s a TAKI (Talajtani és Agrokémiai Tudományos Intézet) szakemberei végeztek számos vizsgálatot s jelentettek meg több közleményt, illetve konferenciabeszámolót. Élelmiszerekben az alumíniumra nem határoztak meg határértékeket, az egyes élelmiszerek között – eredet, földrajzi környezet stb. függvényében – számottevő eltérések mutathatók ki. A rendkívül széles koncentrációtartomány is arra utal, hogy valószínűleg nem esszenciális mikroelemről van szó, hiszen ugyanazon egészséges növényi vagy állati szövet (termék) alumínium-tartalma jelentékenyen különbözhet, több nagyságrend eltérés is lehet.

A növények ill. növényi eredetű élelmiszerek Al-tartalma többnyire jelentősen meghaladja az állati eredetű élelmiszerekét. Erősen savas a környezetben, pH=4 körüli érték esetén a talajvízben akár 1 mg/liter feletti Al-koncentráció is előfordulhat. A talaj magas alumínium-koncentrációja a növények esetében klorózist okozhat. A fokozott Al-felvétel káros hatása döntően az okozott P-hiánnyal magyarázható. Erősen savanyú talajokon az alumínium kedvezőtlen hatása P-trágyázással megszüntethető. Egyes – un. savtűrő növények – igen nagymértékben akkumulálják az alumíniumot, s a szárazanyag-tartalomra vetített Al-tartalom meghaladhatja a 0.1 %-ot is. Ilyen növény pl. a teacserje.

A növényeknél az Al elsősorban a vegetatív részekben fordul elő, mozgékony Al-ban gazdag szubtrópusi és trópusi savanyú talajok esetében igen magas Al-tartalmak mérhetőek tea, kávé, ananász kultúrákban. Lásztity közlése [18] szerint a hazai árpa szemtermés átlagos Al-tartalma 3,1 mg/kg volt (a szalmában mért átlagérték 27,9 mg/kg, tehát nagyságrendi különbség), a köles esetében 4,6 mg/kg volt a szemben s 197 mg/kg a szalmában az átlagosan mért Al-tartalom. A zöldségfélék, főzelékfélék esetében a gabonaszemekben mérhetőnél jóval magasabb Al-koncentrációk is regisztrálhatók, az eltérő földrajzi és talajtani viszonyok függvényében a 10 mg/kg tartománytól akár nagyságrenddel magasabb értékek is.

A rossz abszorpció miatt az állati eredetű élelmiszerek Al-tartalma többnyire jóval kisebb, nagyságrendileg általában a mg/kg tartományba esik. A tehentejben egyes szerzők csak 0.1 mg/liter, mások 1 mg/liter feletti mért Al-tartalomról számolnak be, Pais szerint az átlagérték 0,5 mg/liter körüli [2]. Így a tejtermékek kifejezetten alacsony Al-tartalmú élelmiszernek tekinthetők, s többnyire alacsony a halakban mérhető Al-tartalom is.

Számos élelmiszer (pl. egyes sajtok, sütőporok, fagyasztott tészták, sütőporral kevert lisztes készítmények, savanyított zöldségek) alumíniumot is tartalmazó adalékanyagok felhasználásával készül.

Az emberi szervezetbe jutó alumínium egy része – nem a meghatározó mennyiség – az ivóvízből származik. WHO ajánlás szerint 0,05 mg/liter a kívánatos határérték, a megengedhető pedig 0,2 mg/liter, de ennél az ivóvízben gyakran jóval magasabb a mérhető Al-koncentráció. Al-tartályban tárolt szikvíz esetében pedig jelentősen magasabb értékek is előfordulnak.

A túl sok alumínium bevitele természetesen kedvezőtlen hatásokat is eredményezhet az ember szervezetében. Esetenként azonban nem az élelmiszerekkel bevitt Al mennyisége a döntő, hanem a gyógyászati céllal (pl. gyomorsavtúlnegés ellen) felhasznált és a szervezetbe jutó alumínium. Megemlítendő, hogy vesebetegeknél a szérumban magas foszfáttartalmának csökkentésére nagy dózisban alkalmaznak alumíniumot [19]. A túrhetőnek ítélt napi Al-felvétel egyébként Takács szerint kb. 1 mg/testtömeg-kg, ugyanakkor az EFSA (European Food Safety Authority) ennél jóval kisebb értéket, heti maximum 1 mg/kg testtömeg értéket tekinti biztonságosnak.

Idősebb korban különösen kell ügyelni az alumínium-bevitel csökkentésére, hiszen a magas Al-koncentráció zavarokat okozhat a vesefunkciókban, idegrendszeri zavarokat is eredményezhet, továbbá az Alzheimer betegség is valószínűleg összefügg az agysejtek magasabb Al-tartalmával (az alumínium-felvétel és az Alzheimer-kór összefüggését számos szakirodalmi forrás vitatja; a Szerk.). A veszélyt elsősorban a nagyobb mennyiségben alkalmazott, alumíniumhidroxid tartalmú gyomorsav-tompítók felhasználása jelenti. Különböző kelátképzők egyébként sikeresen alkalmazhatók az alumínium beépülés csökkentésére.

6. Irodalom

- [1] Szabó S. A. (2020): Élelmiszerek ásványi anyag tartalma. Ozmium az élelmiszerekben. Mineral content of foodstuffs. Osmium in foodstuffs. Élelmiszervizsg. Közl., J. Food Investigation, 66 (2), pp. 2989-2993.
- [2] Pais I. (1980): A mikrotápanyagok szerepe a mezőgazdaságban. Alumínium. Mezőgazd. Kiadó, Budapest, 1980, p. 78.
- [3] Szabó A. S. (2016): The essential and non-essential character of trace elements. Investigation of the biological role of some hardly known trace elements. Scholar,s Press, Saarbrücken, Germany.
- [4] Bowen H. J. M. (1979): Environmental chemistry of the elements. Academic Press, London-New York – Toronto-Sydney- San Francisco.
- [5] Bowen H. J. M. (1982): Environmental chemistry. Vol. 2. Royal Society of Chemistry, Burlington House, London.
- [6] Kőrös E. (1980): Bioszervetlen kémia. Az alumínium- és az ólomcsoport fémeinek biológiai jelentősége. Gondolat, Budapest, pp. 135-137.
- [7] Gasztonyi K., Lásztity R. (szerk) (1992): Élelmiszer-kémia. Alumínium, 36, Mezőgazda Kiadó.
- [8] Kőrös E. (1992): Aluminium: its bioinorganic chemistry and toxicity. Proc. 5. Int. Symp. „New perspectives in the research of hardly known trace elements”, Budapest, ed.: I. Pais, pp. 125-46.
- [9] Gergely A., Tekes M., Milotay K., Gaál Ö., Bíró Gy. (1990): Aluminium in hungarian nutrition. Proc. New results in the rerserch of hardly known trace elements and ther importance in the International Geosphere-Biosphere Programme. 4. Symp., Budapest, Hungary, ed.: I., Pais, pp. 253-261, Univ. Hort. Food Ind.
- [10] Szabó S. A., Regiusné Mőcsényi Á., Győri D. (1994): Mikroelemek a mezőgazdaságban. III. Toxikus mikroelemek. Alumínium. Budapest, Akadémiai Kiadó, pp. 131-134.
- [11] Abercrombie D. E, Fowler R. C. (1997): Possible alumium content of canned drinks. *Tox Industr Health*, **13**: pp. 649–654. <https://doi.org/10.1177/074823379701300506>
- [12] Neelam M. S, Kaladhar M. (1999): Risk of icreased aluminium burden in the Indian population: contribution from aluminium cookware. *Food Chemistry*, **70** pp. 57–61. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00068-6](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00068-6)
- [13] Ranau R., Oehlenschläger J., Steinhart H. (2001): Aluminium levels of fish fillets baked and grilled in aluminium foil. *Food Chem*, **73** pp. 1–6. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00318-6](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00318-6)
- [14] López F. F, Cabrera C., Lorenzo M. L, López M. C. (2002): Aluminium content of drinking waters, frui juices and soft drinks: contribution to dietary intake. *Sci Total Environ.*, **292** (3) pp. 205–213. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(01\)01122-6](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(01)01122-6)
- [15] Saiyed S. M, Yokel R. A. (2005): Aluminium content of some foods and food products in the USA, with aluminium food additives. *Food Addit Contam.*, **22** (3) pp. 234–244. <https://doi.org/10.1080/02652030500073584>

- [16] Turhan, S. (2006): Aluminium contents in baked meats wrapped in aluminium foil *Meat Science*,**74** (4) pp. 644–647. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.03.031>
- [17] Stahl, T., Taschan, H., Brunn, H. (2011): Aluminium content of selected foods and food products. *Environ Sci Eur* pp. 23-37. <https://doi.org/10.1186/2190-4715-23-37>
- [18] Lásztity B. (2004): A nem esszenciális elemek forgalma hazai gabonafélékben. MTA TAKI, Bp.
- [19] Takács S. (2001): Nyomelemek nyomában. Alumínium. Medicina Könyvkiadó Rt, Budapest, pp. 57-64.

Minerals in Foodstuffs – Aluminium in foodstuffs

Keywords: macro element, mezzo element, micro element, aluminium-compounds, lack of phosphorus

1. SUMMARY

The paper deals with questions of aluminium, which concentration can be significant in plants, although it is not an essential element. The concentration of aluminium of tea leaves is extremely high. The concentration of aluminium of plants strongly depends on the pH-value of the soil, if the level of acidity in the soil is high, the Al-content of the soil-solution is also high, causing P-deficiency for plants. The intake of aluminium of the humans is a function of the ratio of consumption of plant and animal origin foodstuffs. The aluminium content of animal origin foodstuffs – because of low level absorption rate of aluminium is rather low – so the concentration range of milk of aluminium is low. After the macroelements the aluminium is the metallic micro element which it's daily intake generally the highest in the human diet, approximately between 30 and 50 mg. The too high aluminium uptake in the diet can produce various healthy disorders in the human body, and probably there is a connection between Al-intake and Alzheimer-disease and the old age dementia, as well (The association between aluminium uptake and Alzheimer's disease is disputed by several sources in the literature; the Editor).

¹ Élelmiszerfizikai Alapítvány

2. Introduction

In the previous part [1] of the series about the minerals the case of osmium was discussed, which is a toxic trace element. This part deals with aluminium, which is a microelement, belonging to the group of trace elements without biological importance. In some respects, it may be questionable whether there is an element at all that has no biological significance.

Of course the “boundary” between biologically significant and non significant elements is not sharp, as it has been known since Paracelsus (1493-1541) that in principle all substances – so in the case of all microelements – can be toxic, and the extent of the effect depends only on its concentration and uptake.

As the opinion of Pais [2] aluminium belongs to the microelements with partial biological effect. According to Pais these microelements are those, that are not have essential effect and even not stimulative for the human beings with high probability. Their concentration can be very low – therefore they do not have practically biological-physiological effect – or the concentration is not low, however the toxicity of the given microelement (and of its chemical compounds) is rather weak, so toxic effect, negative, inhibitive influence on the physiological processes can occur only in case of extremely high concentrations. Because of the limited knowledge – e.g. in consequence of the threshold values for quantitative determinations of the applied analytical techniques – it is possible, that in the future the number of essential elements will increase [3]. Because essentiality means, that the given microelement is a component or activator of enzymes, proving this fact in case of elements with very low concentration range is not an easy task. Mostly is difficult in that case, if the concentration of the given microelement in natural circumstances always exceeds the physiological requirement, so there are no deficiency symptoms. Theoretically the threshold can be even one atom per cell, because it is possible, that in the cell (as an anatomical and functional unit of living organism) there is only 1 molecule with physiological role, having 1 atom of the given trace element as a component. So, these concentrations can be really very low in the case of the agricultural products and foodstuffs (even orders of magnitude less), in comparison with the widely applied concentrations in the analytical techniques, like ppm (mg/kg or ppb (ng/g).

3. The physiological role of aluminium

Aluminium is the most abundant metal in the earth's crust (7.5%), followed by oxygen and silicon as chemical element. Most of it is found in aluminosilicate minerals (e.g. andalusite) and feldspar (e.g. orthoclase), but oxide (e.g. corundum) and hydroxide (e.g. hydrargillite) minerals are also known. However, bauxite is not a mineral, but a sedimentary rock that contains mainly boehmite and hydrargillite. Aluminium occurs in soils with a frequency of 0.2-20%, with an average concentration of 0.002 mg/liter in seawater and 0.3 mg/liter in surface freshwater [4, 5].

Although Al is present in relatively high concentrations in materials of biological origin (especially plants), as the currently knowledge not to have a biological function. However, from agricultural point of view, from point of view of the nutrient supply of plants, especially the P supply, it is a very crucial element. Aluminium is probably not a vital element, it's physiological-biological function not known. According to Kőrös [6], the main reason for aluminium is that under physiological pH (about pH=7) is in non-ionic state, already at a much lower pH, aluminium precipitates out of solution in the form of hydroxopolymers, and since this precipitate cannot be solved by the different complexing agents, so aluminium cannot get into solution. Aluminium does not participate in redox reactions, in aqueous solution it can be present only in the +3 oxidation state. It follows that aluminium cannot be a component of either metalloenzymes or metal-activated enzymes and cannot be listed as a mobile ion. Nor could it become a component of insoluble phosphates found in significant amounts in living organisms, as biological evolution has chosen calcium for this role that is much more readily available to biological systems.

In the last 2-3 decades, plenty of scientific publications have dealt with the chemical-biochemical role of aluminium in the food chain, interactions (mainly related to the fluorine and phosphorus), possible toxic effects, environmental pollution, aluminium use and with significance, biological role, utilization and negative impact of aluminium uptake from food and other sources (e.g. medicines). Some authors believe that aluminium at an optimal concentration also has a stimulating role. I think many questions are not just waiting to be answered, but perhaps even being raised.

Some experts have recently classified aluminium as a controversial physiologically important element, not completely ruling out the possibility of essentiality, but suggesting that it is only a necessary element at very low concentrations, and therefore deficiency symptoms are not expected to occur. However, too much aluminium is also sure to disrupt the body's metabolism of Ca, P, and F. For example, due to the antagonism between fluorine and aluminium, fluorine supplementation reduces the concentration and potential adverse effects of aluminium and vice versa.

4. Aluminium turnover in the human body

With a mixed diet, the daily Al intake is approx. between 10 and 35 mg and the amount of aluminium in the human body is usually between 50 and 120 mg, and this in general increases with age [7]. According to other data [8], the amount of stored Al in the body of an average person weighing 70 kg can be as high as 1.0 g, and the daily intake can reach 80 mg. According to the vast majority of the authors, the range of daily Al uptake is between 5 and 150 mg, however, according to some in Hungary carried out measurements [9], the values from food were only between 0.3 and 19.4 mg. Of course, aluminium can come not only from solid food, but also from drinks and medicines, and even a small part of it enters the body through the lungs by inhalation.

After the macroelements, from the solid foodstuffs and beverages the aluminium and the silicon are the two elements which enter into the human gastrointestinal tract.

Thus, together with some other elements (e.g. bromine, boron, possibly iron, zinc), the aluminium could even be classified as a meso element, as its prevalence in food can significantly (by an order of magnitude or even several orders of magnitude) exceed the concentration of most trace elements. The uptake of aluminium crucially depends on whether the individual is consuming food dominantly of plant or animal origin.

The various compounds and salts of aluminium are practically non-toxic to the human body, which is related to the fact that they are absorbed only slightly from the digestive tract, and thus are mainly excreted in the faeces. The amount of aluminium excreted in the urine is only around 0.1 mg/liter. The week solubility of aluminium made it possible to use aluminium utensils and technological equipment in the food industry and kitchen technology. However, it should be taken into account that aluminium ions catalyse the degradation of the vitamin C content in the food like the copper ions. It is also good for making aluminium foil, which is suitable for packaging a wide variety of foods.

As a result of inhalation, some of the aluminium that enters the body is stored in the lungs, which explains why the Al concentration in the lung tissues increases with age. However, some part of the aluminium is absorbed, as the Al content measured in the urine of Al-exposed workers was 2-3 times higher than the values measured in the control persons. In addition to the lungs, bone, liver, and spleen contain significant amounts of aluminium, and it is a well-known fact that Al levels increase in the brain as we age. In renal patients, due to decreased renal function, aluminium deposition in some organs may be very significant. Al-loading can also cause secondary phosphorus deficiency [10].

5. Aluminium content of foodstuffs

There is a wealth of literature data on the Al content of various agricultural products, food raw materials and ready meals [11, 12, 13, 14, 15, 16, 17]. In Hungary, the experts of former OÉTI (State Institute of Food and Nutrition) and TAKI (Research Institute on Soil science and Agrochemistry) carried out several studies and published several publications or conference reports. No limit is given for aluminium in foodstuffs, but concerning the content in the foodstuffs huge differences can be detected depending on the origin, geographical environment etc. The extremely wide concentration range also suggests that Al is probably a non-essential microelement, as the aluminium content of the same healthy plant or animal tissue (product) may differ significantly, there may be several orders of magnitude differences.

The Al content of plants and food of plant origin is in general significantly higher than that of food of animal origin. If the environment is strongly acidic, about pH=4 value, the Al concentration in the groundwater can be occurred even above 1 mg/liter, which can lead to chlorosis in plants. The adverse effect of increased Al uptake can be mainly explained by the caused P-deficiency. On strongly acidic soils the unfavourable effect of aluminium can be eliminated by P-fertilization. Some the – so-called acid-tolerant plants – accumulate aluminium in a very large extent, and the Al content per dry matter content can exceed 0.1%. Such plant as e.g. the tea bush.

In plants, Al occurs mainly in the vegetative parts, in the case of subtropical and tropical acidic soils, which are rich in mobile Al, very high Al contents can be measured in tea, coffee and pineapple crops. According to Lásztity [18], the average Al content of Hungarian barley grain was 3.1 mg/kg (the average value measured in straw was 27.9 mg/kg, so the difference is one order of magnitude), in the case of millet it was 4.6 mg/kg, and the average Al content measured in straw was 197 mg/kg. In the case of vegetables and greens, Al concentrations are higher than those measured in cereals can be registered, depending on the different geographical and soil conditions. Values can be even one order of magnitude higher than the range of 10 mg/kg.

Because of poor absorption the Al content of foods of animal origin is usually much lower, usually it is in the range of mg/kg. In cow's milk, some authors report only the measured Al content above 0.1 mg/liter, others above 1 mg/liter, and to Pais milk has an average value of around 0.5 mg/liter [2]. Thus, dairy products can be considered as foods with a particularly low Al content, and in most cases the Al content measured in fish is also low.

Many foods (e.g. some cheeses, baking powders, frozen pasta, flour mixed with baking powder, pickled vegetables) are made using additives that also contain aluminium. Some of the aluminium that enters the body – not the dominant amount – comes from drinking water. According to the WHO recommendation, 0.05 mg/liter is the desired limit value and the permissible limit is 0.2 mg/liter, but the measurable Al concentration in the drinking water is often much higher. In the case of soda water stored in a aluminium cylinder, significantly higher values also occur.

Of course, consuming too much aluminium can also have adverse effects on the body. In some cases, however, it is not the amount of Al taken in with food is decisive, but the amount of aluminium used for medicinal purposes (e.g. against gastric acid overload) and entering the body. It should be noted that high doses of aluminium are used to reduce high serum phosphate in renal patients [19]. According to Takács, the *daily* Al uptake, which was considered tolerable, is approximately 1 mg/kg body weight, while EFSA (European Food Safety Authority) considers a much lower value to be safe, with a maximum *weekly* intake of 1 mg/kg body weight. In the elderly ages, special care should be taken to ensure moderate aluminium intake, as high Al levels can cause impaired renal function, nervous system disorders, and Alzheimer's disease is likely to be associated with higher Al content in brain cells (the association between aluminium uptake and Alzheimer's disease is disputed by several sources in the literature; the Editor). The main danger is the use of acid suppressants with higher levels of aluminium hydroxide. Various chelating agents can otherwise be used successfully to reduce aluminium incorporation.

6. References

- [1] Szabó S. A. (2020): Élelmiszerek ásványi anyag tartalma. Ozmium az élelmiszerekben. Mineral content of foodstuffs. Osmium in foodstuffs. *Élelmiszervizsg. Közl., J. Food Investigation*, 66 (2), pp. 2989-2993.
- [2] Pais I. (1980): A mikrotápanyagok szerepe a mezőgazdaságban. Alumínium. Mezőgazd. Kiadó, Budapest, 1980, p. 78.
- [3] Szabó A. S. (2016): The essential and non-essential character of trace elements. Investigation of the biological role of some hardly known trace elements. Scholar,s Press, Saarbrücken, Germany.
- [4] Bowen H. J. M. (1979): Environmental chemistry of the elements. Academic Press, London-New York – Toronto-Sydney- San Francisco.
- [5] Bowen H. J. M. (1982): Environmental chemistry. Vol. 2. Royal Society of Chemistry, Burlington House, London.
- [6] Kőrös E. (1980): Bioszervetlen kémia. Az alumínium- és az ólomcsoport fémeinek biológiai jelentősége. Gondolat, Budapest, pp. 135-137.
- [7] Gasztonyi K., Lásztity R. (szerk) (1992): Élelmiszer-kémia. Alumínium, 36, Mezőgazda Kiadó.
- [8] Kőrös E. (1992): Aluminium: its bioinorganic chemistry and toxicity. Proc. 5. Int. Symp. „New perspectives in the research of hardly known trace elements”, Budapest, ed.: I. Pais, pp. 125-46.
- [9] Gergely A., Tekes M., Milotay K., Gaál Ö., Bíró Gy. (1990): Aluminium in hungarian nutrition. Proc. New results in the rerserch of hardly known trace elements and ther importance in the International Geosphere-Biosphere Programme. 4. Symp., Budapest, Hungary, ed.: I., Pais, pp. 253-261, Univ. Hort. Food Ind.
- [10] Szabó S. A., Regiusné Mócsényi Á., Győri D. (1994): Mikroelemek a mezőgazdaságban. III. Toxikus mikroelemek. Alumínium. Budapest, Akadémiai Kiadó, pp. 131-134.
- [11] Abercrombie D. E, Fowler R. C. (1997): Possible alumium content of canned drinks. *Tox Industr Health*, 13: pp. 649–654. <https://doi.org/10.1177/074823379701300506>
- [12] Neelam M. S, Kaladhar M. (1999): Risk of icreased aluminium burden in the Indian population: contribution from aluminium cookware. *Food Chemistry*, 70 pp. 57–61. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00068-6](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00068-6)
- [13] Ranau R., Oehlenschläger J., Steinhart H. (2001): Aluminium levels of fish fillets baked and grilled in aluminium foil. *Food Chem*, 73 pp. 1–6. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00318-6](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00318-6)
- [14] López F. F, Cabrera C., Lorenzo M. L, López M. C. (2002): Aluminium content of drinking waters, frui juices and soft drinks: contribution to dietary intake. *Sci Total Environ.*, 292 (3) pp. 205–213. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(01\)01122-6](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(01)01122-6)
- [15] Saiyed S. M, Yokel R. A. (2005): Aluminium content of some foods and food products in the USA, with aluminium food additives. *Food Addit Contam.*, 22 (3) pp. 234–244. <https://doi.org/10.1080/02652030500073584>

- [16] Turhan, S. (2006): Aluminium contents in baked meats wrapped in aluminium foil *Meat Science*,**74** (4) pp. 644–647. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.03.031>
- [17] Stahl, T., Taschan, H., Brunn, H. (2011): Aluminium content of selected foods and food products. *Environ Sci Eur* pp. 23-37. <https://doi.org/10.1186/2190-4715-23-37>
- [18] Lásztity B. (2004): A nem esszenciális elemek forgalma hazai gabonafélékben. MTA TAKI, Bp.
- [19] Takács S. (2001): Nyomelemek nyomában. Alumínium. Medicina Könyvkiadó Rt, Budapest, pp. 57-64.

Nemzeti szabványosítási hírek

A következő felsorolásban szereplő szabványok megvásárolhatók vagy megrendelhetők az MSZT Szabványboltban (1082 Budapest VIII., Horváth Mihály tér 1., telefon: 456-6893, telefax: 456-6841, e-mail: kiado@mszt.hu; levélcím: Budapest 9., Pf. 24, 1450), illetve elektronikus formában beszerezhetők a www.mszt.hu/webaruhaz címen.

A nemzetközi/európai szabványokat bevezetjük magyar nyelven, valamint magyar nyelvű címdallal és angol nyelvű tartalommal. A magyar nyelven bevezetett nemzetközi/európai szabványok esetén külön feltüntetjük a magyar nyelvű hozzáférést.

2021. szeptember – 2021. november hónapban bevezetett szabványok:

01.040.71 Szakkifejezések gyűjteményei

MSZ EN ISO 9235:2021 Aromás természetes nyersanyagok. Szakszótár (ISO 9235:2021) – Az MSZ EN ISO 9235:2014 helyett

07.100.30 Élelmiszer-mikrobiológia

MSZ EN ISO 21528-1:2017 Az élelmiszerlánc mikrobiológiája. Horizontális módszer az *Enterobacteriaceae* kimutatására és számlálására. 1. rész: Az *Enterobacteriaceae* kimutatása (ISO 21528-1:2017)

MSZ EN ISO 22964:2017 Az élelmiszerlánc mikrobiológiája. Horizontális módszer a *Cronobacter* spp. kimutatására (ISO 22964:2017)

MSZ EN ISO 23036-1:2021 Az élelmiszerlánc mikrobiológiája. Módszerek az *Anisakidae* L3 lárvák kimutatására halakban és halászati termékekben. 1. rész: UV-nyomásos módszer (ISO 23036-1:2021)

MSZ EN ISO 23036-2:2021 Az élelmiszerlánc mikrobiológiája. Módszerek az *Anisakidae* L3 lárvák kimutatására halakban és halászati termékekben. 2. rész: Mesterséges emésztéses módszer (ISO 23036-2:2021)

13.020.55 Bioalapú termékek

MSZ EN 17477:2021 Algák és algából készült termékek. Mikroalgák, makroalgák, cianobaktériumok és *Labyrinthulomycetes* biomasszájának azonosítása. Kimutatás és azonosítás morfológiai és/vagy molekuláris módszerekkel

MSZ EN 17480:2021 Algák és algából készült termékek. Az alganövekedési helyek produktivitásának meghatározási módszerei

13.060 Vízminőség

MSZ EN ISO 10703:2021 Vízminőség. Gamma-sugárzó radionuklidok. Vizsgálati módszer nagy felbontású gamma-spektrometriával (ISO 10703:2021) – Az MSZ EN ISO 10703:2016 helyett

MSZ EN ISO 13160:2021 Vízminőség. ⁹⁰Sr és ⁸⁹Sr. Vizsgálati módszerek folyadékszcintillációs számlálóval vagy proporcionális számlálóval (ISO 13160:2021) – Az MSZ EN ISO 13160:2016 helyett

MSZ EN ISO 13162:2021 Vízminőség. ¹⁴C. Vizsgálati módszer folyadékszcintillációs számlálóval (ISO 13162:2021) – Az MSZ EN ISO 13162:2015 helyett

MSZ EN ISO 22515:2021 Vízminőség. ⁵⁵Fe. Vizsgálati módszer folyadékszcintillációs számlálóval (ISO 22515:2021)

67 Élelmiszeripar

67.050 Élelmiszertermékek vizsgálatának és elemzésének általános módszerei

MSZ EN 17203:2021 Élelmiszerek. A citrinin meghatározása élelmiszerekben, HPLC-MS/MS-sel – Az MSZ EN 17203:2019 helyett

¹ Magyar Szabványügyi Testület (MSZT)

MSZEN17521:2021 Élelmiszerek. *Alternaria* toxinok meghatározása paradicsom-, búza- és napraforgómagban, SPE-tisztítással és HPLC-MS/MS-sel

67.100 Tej és tejtermékek

MSZ ISO 6091:2021 Tejpor. A titrálható savasság meghatározása (referencia-módszer) – Az MSZ 2708-3:1987 és az MSZ ISO 6091:1994 helyett

MSZ ISO 8156:2021 Tejpor és porított tejtermékek. Az oldhatatlansági index meghatározása – Az MSZ 2708-5:1987 helyett

MSZ EN ISO 14501:2021 Tej és tejpor. Az aflatoxin M₁ meghatározása. Immunaflinitásos kromatográfiás tisztítás és nagy hatékonyságú folyadékkromatográfiás meghatározás (ISO 14501:2021) – Az MSZ EN ISO 14501:2008 helyett

67.120 Hús, hústermékek és egyéb állati termékek

MSZ ISO 13496:2021 Hús és húskészítmények. A színezőanyagok kimutatása és meghatározása – Az MSZ ISO 13496:2003 helyett

MSZ ISO 23776:2021 Hús és húskészítmények. Az összes foszfortartalom meghatározása – Az MSZ ISO 13730:2000 helyett

67.200 Étolajok és -zsírok. Olajmagvak

MSZ EN ISO 6321:2021 Állati és növényi zsírok és olajok. A zsiradék olvadáspontjának meghatározása nyitott kapilláriscsövekben. Csúszáspont (ISO 6321:2021) – Az MSZ EN ISO 6321:2002 helyett

MSZ EN ISO 18363-4:2021 Állati és növényi zsírok és olajok. A zsírsavval kötésben lévő klórpropán-diolok (MCPD-k) és a glicidol meghatározása GC/MS-sel. 4. rész: Módszer a 2-MCPD, a 3-MCPD és a glicidol gyors lúgos átészterezésére és mérésére, GC-MS/MS-sel (ISO 18363-4:2021)

67.240 Érzékszervi vizsgálat

MSZ ISO 11056:2021 Érzékszervi vizsgálat. Módszertan. Nagyságrendbecslő módszer – Az MSZ ISO 11056:2016 helyett

71 Vegyipar

71.100.60 Illóolajok

MSZ EN 16274:2021 Allergének elemzési módszere. 57 feltételezett allergén kibővített listájának mennyiségi meghatározása injektálásra kész illatanyagokban, gázkromatográfiás tömegspektrometriával – Az MSZ EN 16274:2013 helyett

71.100.80 Vízisztító vegyszerek

MSZ EN 1018:2021 Vegyi anyagok az emberi felhasználásra szánt ivóvíz kezelésére. Kalcium-karbonát – Az MSZ EN 1018:2013+A1:2015 helyett

2021. szeptember – 2021. november hónapban helyesbített szabványok:

07.100.30 Élelmiszer-mikrobiológia

MSZ EN ISO 4833-2:2014 Az élelmiszerlánc mikrobiológiája. Horizontális módszer a mikroorganizmusok számlálására. Telepszámlálás 30 °C-on felületi szélesztéses módszerrel (ISO 4833-2:2013)

67.100 Tej és tejtermékek

MSZ EN ISO 5943:2007 Sajtok és ömlesztett sajtok. A kloridtartalom meghatározása. Potenciometriás titrálásos módszer (ISO 5943:2006)

MSZ EN ISO 8968-4:2016 Tej és tejtermékek. A nitrogéntartalom meghatározása. 4. rész: A fehérje- és a nem fehérjeeredetű nitrogéntartalom meghatározása, valamint a valódi fehérjetartalom kiszámítása (referencia-módszer) (ISO 8968-4:2016)

67.120 Hús és hústermékek

MSZ ISO 937:2002 Hús és húskészítmények. A nitrogéntartalom meghatározása (referencia-módszer)

Review of national standardization

The following Hungarian standards are commercially available at MSZT (Hungarian Standards Institution, H-1082 Budapest, Horváth Mihály tér 1., phone: +36 1 456 6893, fax: +36 1 456 6841, e-mail: kiado@mszt.hu, postal address: H-1450 Budapest 9., Pf. 24) or via website: www.mszt.hu/webaruhaz.

Published national standards from September 2021 to November 2021

01.040 Vocabularies

MSZ EN ISO 9235:2021 Aromatic natural raw materials. Vocabulary (ISO 9235:2021) – which has withdrawn the MSZ EN ISO 9235:2014

07.100.30 Food microbiology

MSZ EN ISO 21528-1:2017 Microbiology of the food chain. Horizontal method for the detection and enumeration of *Enterobacteriaceae*. Part 1: Detection of *Enterobacteriaceae* (ISO 21528-1:2017)

MSZ EN ISO 22964:2017 Microbiology of the food chain. Horizontal method for the detection of *Cronobacter* spp. (ISO 22964:2017)

MSZ EN ISO 23036-1:2021 Microbiology of the food chain. Methods for the detection of *Anisakidae* L3 larvae in fish and fishery products. Part 1: UV-press method (ISO 23036-1:2021)

MSZ EN ISO 23036-2:2021 Microbiology of the food chain. Methods for the detection of *Anisakidae* L3 larvae in fish and fishery products. Part 2: Artificial digestion method (ISO 23036-2:2021)

13.020.55 Biobased products

MSZ EN 17477:2021 Algae and algae products. Identification of the biomass of microalgae, macroalgae, cyanobacteria and *Labyrinthulomycetes*. Detection and identification with morphological and/or molecular methods

MSZ EN 17480:2021 Algae and algae products. Methods for the determination of productivity of algae growth sites

13.060 Water quality

MSZ EN ISO 10703:2021 Water quality. Gamma-ray emitting radionuclides. Test method using high resolution gamma-ray spectrometry (ISO 10703:2021) – which has withdrawn the MSZ EN ISO 10703:2016 –

MSZ EN ISO 13160:2021 Water quality. Strontium 90 and strontium 89. Test methods using liquid scintillation counting or proportional counting (ISO 13160:2021) – which has withdrawn the MSZ EN ISO 13160:2016

MSZ EN ISO 13162:2021 Water quality. Carbon 14. Test method using liquid scintillation counting (ISO 13162:2021) – which has withdrawn the MSZ EN ISO 13162:2015

MSZ EN ISO 22515:2021 Water quality. Iron-55. Test method using liquid scintillation counting (ISO 22515:2021)

67 Food technology

67.050 General methods of tests and analysis for food products

MSZ EN 17203:2021 Foodstuffs. Determination of citrinin in food by HPLC-MS/MS – which has withdrawn the MSZ EN 17203:2019

MSZ EN 17521:2021 Foodstuffs. Determination of *Alternaria* toxins in tomato, wheat and sunflower seeds by SPE clean-up and HPLC-MS/MS

¹ Hungarian Standards Institution

67.100 Milk and milk products

MSZ ISO 6091:2021 Dried milk. Determination of titratable acidity (Reference method) – which has withdrawn the MSZ 2708-3:1987 and the MSZ ISO 6091:1994

MSZ ISO 8156:2021 Dried milk and dried milk products. Determination of insolubility index – which has withdrawn the MSZ 2708-5:1987

MSZ EN ISO 14501:2021 Milk and milk powder. Determination of aflatoxin M₁ content. Clean-up by immunoaffinity chromatography and determination by high-performance liquid chromatography (ISO 14501:2021) – which has withdrawn the MSZ EN ISO 14501:2008

67.120 Meat, meat products and other animal produce

MSZ ISO 13496:2021 Meat and meat products. Detection and determination of colouring agents – which has withdrawn the MSZ ISO 13496:2003

MSZ ISO 23776:2021 Meat and meat products. Determination of total phosphorous content – which has withdrawn the MSZ ISO 13730:2000

67.200 Edible oils and fats. Oilseeds

MSZ EN ISO 6321:2021 Animal and vegetable fats and oils. Determination of melting point in open capillary tubes. Slip point (ISO 6321:2021) – which has withdrawn the MSZ EN ISO 6321:2002

MSZ EN ISO 18363-4:2021 Animal and vegetable fats and oils. Determination of fatty-acid-bound chloropropanediols (MCPDs) and glycidol by GC/MS. Part 4: Method using fast alkaline transesterification and measurement for 2-MCPD, 3-MCPD and glycidol by GC-MS/MS (ISO 18363-4:2021) (ISO 18363-4:2021)

67.240 Sensory analysis

MSZ ISO 11056:2021 Sensory analysis. Methodology. Magnitude estimation method – which has withdrawn the MSZ ISO 11056:2016

71 Chemical technology

71.100.60 Essential oils

MSZ EN 16274:2021 Method for analysis of allergens. Quantification of an extended list of 57 suspected allergens in ready to inject fragrance materials by gas chromatography mass spectrometry – which has withdrawn the MSZ EN 16274:2013

71.100.80 Chemicals for purification of water

MSZ EN 1018:2021 Chemicals used for treatment of water intended for human consumption. Calcium carbonate – which has withdrawn the MSZ EN 1018:2013+A1:2015

Corrected national standards from September 2021 to November 2021:

07.100.30 Food microbiology

MSZ EN ISO 4833-2:2014 Microbiology of the food chain. Horizontal method for the enumeration of microorganisms. Part 2: Colony count at 30 degrees C by the surface plating technique (ISO 4833-2:2013)

67.100 Milk and milk products

MSZ EN ISO 5943:2007 Cheese and processed cheese products. Determination of chloride content. Potentiometric titration method (ISO 5943:2006)

MSZ EN ISO 8968-4:2016 Milk and milk products. Determination of nitrogen content. Part 4: Determination of protein and non-protein nitrogen content and true protein content calculation (Reference method) (ISO 8968-4:2016)

67.120 Meat, meat products and other animal produce

MSZ ISO 937:2002 Meat and meat products. Determination of nitrogen content (Reference method)

For further information please contact Ms Anna Szalay, sector manager on food and agriculture, e-mail: a.szalay@mszt.hu

Szerzőink / Authors

ALEXA Loránd

*Debreceni Egyetem, Élelmiszertudományi Intézet
University of Debrecen, Institute of Food Science*

CZIPA Nikolett Dr.

*Debreceni Egyetem, Élelmiszertudományi Intézet
University of Debrecen, Institute of Food Science*

KOPPÁNYNÉ SZABÓ Erika Dr.

*Magyar Agár-és Élettudományi Egyetem, Budai Campus, Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet,
Élelmiszertudományi Kutatócsoport
Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Buda Campus, Institute of Food Science and
Technology, Food Science Research Group*

KOVÁCS Béla Prof. Dr.

*Debreceni Egyetem, Élelmiszertudományi Intézet
University of Debrecen, Institute of Food Science*

SCHMIDT Noémi

*Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal Élelmiszerlánc-biztonsági Laboratóriumi Igazgatóság Analitikai
Nemzeti Referencia Laboratórium
National Food Chain-Safety Office, Food Chain Safety Laboratory Directorate, National Analytical Reference
Laboratory*

SZABÓ S. András Prof. Dr.

*Élelmiszerfizikai Alapítvány
Food Physics Foundation*

SZALAY Anna

*Magyar Szabványügyi Testület
Hungarian Standards Institution*

TAKÁCS Krisztina Dr.

*Magyar Agár-és Élettudományi Egyetem, Budai Campus, Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet,
Élelmiszertudományi Kutatócsoport
Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Buda Campus, Institute of Food Science and
Technology, Food Science Research Group*

TOPA Emőke Dr.

*Debreceni Egyetem, Élelmiszertudományi Intézet
University of Debrecen, Institute of Food Science*

VARGA-KÁNTOR Andrea Dr.

*Debreceni Egyetem, Élelmiszertudományi Intézet
University of Debrecen, Institute of Food Science*



Megbízható Mennyiségi Meghatározás

Minden komponens, mátrix és felhasználó esetében

A tudományos és üzleti célok elérése csak megbízható eredmények birtokában lehetséges.

A felhasználási területtől függetlenül a Thermo Scientific™ TSQ hármass kvadrupol tömegspektrometriás rendszerei kiemelkedő precizitást biztosítanak a mennyiségi meghatározási feladatokra. Nagy felbontású SRM üzemmód, robusztusság, megbízhatóság és érzékenység egy készülékben, mely segítségével minden felhasználó a mérendő komponenstől vagy a mátrixtól függetlenül megbízható mérési eredményekhez juthat.



Thermo Scientific™ TSQ Altis™
hármass kvadrupol tömegspektrométer



Thermo Scientific™ TSQ Quantis™
hármass kvadrupol tömegspektrométer



Thermo Scientific™ TSQ Fortis™
hármass kvadrupol tömegspektrométer

További információk:

thermofisher.com/confidentquantitation

Kizárólagos képviselő:

UNICAM Magyarország Kft.
1144 Budapest, Kőszeg utca 25.
Telefon: +36 1 221 5536
E-mail: unicam@unicam.hu
Web: www.unicam.hu

UNICAM

Élelmiszervizsgálati Közlemények / Journal of Food Investigation

Kiadó / Publisher: Wessling Nemzetközi Kutató és Oktató Központ Nonprofit Kft. / Wessling International Research and Educational Centre Nonprofit Ltd. / **HU ISSN 2676-8704**

Felelős kiadó / Director: Dr. ZANATHY László ügyvezető igazgató / CEO

Főszerkesztő / Editor in chief: Dr. SZIGETI Tamás János

Szerkesztő / Editor: KONECSNY Tímea, SZUNYOGH Gábor

Angol fordítás / English translation: Dr. HANTOSI Zsolt

Honlap adminisztrátor / web admin.: JUHÁSZ Péter

Szerkesztőbizottság / Editorial Board:

- AMBRUS Árpád Dr. *Nyugalmazott egyetemi tanár, Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági hivatal (NÉBIH) főtanácsadó;
Retired university professor, National Food Chain Safety Office (NFCSSO) chief advisor*
- BÁNÁTI Diána Dr. *Egyetemi tanár, rektori megbízott, Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar;
Full professor special advisor of the rector University of Szeged Faculty of Engineering*
- BARNA Sarolta Dr. *Igazgató, Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági hivatal, Élelmiszerbiztonsági Kockázateértékelési Hivatal (NÉBIH, KÉI);
Director of National Food Chain Safety Office, Directorate of Risk Assessment (NFCSSO, DRA)*
- BÉKÉS Ferenc Dr. *Az MTA külső tagja, igazgató, FBFD PTY LTD NSW Ausztrália;
External Member of Hung. Acad. Sci., director of FBFD PTY LTD NSW Australia*
- BIACS Péter Dr. *Nyugalmazott egyetemi tanár, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem (MATE);
Retired university professor Hungarian University of Agricultural and Life Sciences (HUALS)*
- BIRÓ György Dr. *Nyugalmazott egyetemi tanár, Semmelweis Egyetem, Egészségtudományi Kar;
Retired university professor, Semmelweis University, Faculty of Health Sci.*
- BOROSS Ferenc Dr. *Ügyvezető elnök, Európai Minőségügyi Szervezet, Magyar Nemzeti Bizottság (EOQ MNB); Executive chairman, European Organization for Quality, Hungarian National Committee (EOQ HNC)*
- CSAPÓ János Dr. *Egyetemi tanár, Debreceni Egyetem, Sapientia Egyetem, Csikszerepai Kar;
University professor, University of Debrecen, Sapientia Univ., Miercurea Ciuc)*
- DANK Magdolna Dr. *Egyetemi tanár, Semmelweis Egyetem, Onkológiai Intézet;
University professor, Semmelweis University, Institute of Oncology*
- FARKAS József Dr.** *Nyugalmazott egyetemi tanár, akadémikus;
Retired university professor, academician*
- GAGÁN Anita *J.S. Hamilton Hungaria Kft.*
- GYIMES Ernő Dr. *Egyetemi docens, Szegedi Tudományegyetem, Mérnöki Kar;
University docent, University of Szeged Faculty of Engineering*
- GYŐRI Zoltán Dr. *Nyugalmazott egyetemi tanár, intézetigazgató, Debreceni Egyetem;
Retired university professor, institute director, University of Debrecen*
- HANTOSI Zsolt Dr. *Angol nyelvi lektor, WESSLING Hungary Kft.; English lecturer, WESSLING Hungary Kft.*
- KASZA Gyula Dr. *Osztályvezető, Kockázatmegelőzési és Oktatási Osztály, Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági hivatal (NÉBIH),
Egyetemi docens, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem (MATE),
Címzetes egyetemi tanár, Állatorvostudományi Egyetem;
Head of Department of Risk Prevention and Education, National Food Chain Safety Office (NFCSSO),
Associate professor, Hungarian University of Agricultural and Life Sciences (HUALS),
Honored university professor, University of Veterinary Science*
- KONECSNY Tímea *Szerkesztő, WESSLING Hungary Kft.; Editor, WESSLING Hungary Kft.*
- KOVÁCS Béla Dr. *Egyetemi tanár, Debreceni Egyetem;
University professor, University of Debrecen*
- MARÁZ Anna Dr. *Egyetemi tanár, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem (MATE);
University professor, Hungarian University of Agricultural and Life Sciences (HUALS)*

- MOLNÁR Pál Dr. *Egyetemi tanár, Szegedi Egyetem Mérnöki Kar, elnök, Európai Minőségügyi Szervezet, Magyar Nemzeti Bizottság (EOQ MNB); University professor, University of Szeged Faculty of Engineering, chairman, European Organization for Quality, Hungarian National Committee (EOQ HNC)*
- NAGY Edit *Főtítká, MAVÍZ; Secretary general, Hungarian Water Utility Association*
- POPOVICS Anett Dr. *Egyetemi adjunktus, Óbudai Egyetem, Keleti Károly Gazdasági Kar; Senior lecturer, University of Óbuda, Keleti Károly Faculty of Economics*
- SALGÓ András Dr. *Nyugalmazott egyetemi tanár, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem; Retired university professor, Budapest Technical University*
- SÁRDI Éva Dr. *Egyetemi tanár, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem (MATE), Genetika és Növénynevelés Tanszék; University professor, Hungarian University of Agricultural and Life Sciences (HUALS), Department of Genetics and Plant Breeding*
- SIMONNÉ SARKADI Livia Dr. *Habil. egyetemi tanár, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem (MATE), Élelmiszertudományi Kar; Habil. university professor, Hungarian University of Agricultural and Life Sciences, (HUALS) Faculty of Food Sciences*
- SIPOS László Dr. *Egyetemi docens, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem (MATE), Árukezelési és Érzékszervi Minősítési Tanszék; University docent, Hungarian University of Agricultural and Life Sciences (HUALS), Department of Commodity Management and Sensory Qualification*
- SOHÁR Pálné Dr. *Nyugalmazott főosztályvezető, NÉBIH; Retired head of department, NFCSO*
- SZABÓ S. András Dr. *Tanár, Ward Mária Gimnázium; Professor, Ward Mária High School*
- SZALAY Anna *Szabványosító menedzser, Magyar Szabványügyi Testület (MSZT); Standardization manager, Hungarian Standards Institution (HSI)*
- SZEITZNÉ SZABÓ Mária Dr. *Nyugalmazott igazgatóhelyettes, Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági hivatal, Élelmiszerbiztonsági Kockázatértékelési Hivatal (NÉBIH, KÉI); Retired deputy director of National Food Chain Safety Office, Directorate of Risk Assessment (NFCSO, DRA)*
- SZIGETI Tamás János Dr. *Főszerkesztő, WESSLING Nonprofit Kft., Üzletfejlesztési igazgató, WESSLING Hungary Kft., Címzetes főiskolai docens, Szegedi Egyetem Mérnöki Kar, Címzetes egyetemi docens, Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar; Editor in chief, WESSLING Nonprofit Ltd., Business developing manager, WESSLING Hungary Kft., Honorary docent, University of Szeged Faculty of Engineering University docent, University of Debrecen, Faculty of Agriculture-, Food-science and Environmental Management*
- SZUNYOGH Gábor *Szerkesztő, WESSLING Nonprofit Kft., Osztályvezető, WESSLING Hungary Kft., Marketing osztály; Editor, WESSLING Nonprofit Ltd., Head of Marketing Department, WESSLING Hungary Ltd.*
- TÖMÖSKÖZI Sándor Dr. *Egyetemi docens, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem; University docent, Budapest Technical University*
- VARGA László Dr. *Egyetemi tanár, Széchenyi István Egyetem Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar, Élelmiszertudományi Tanszék Mosonmagyaróvár; University professor, Széchenyi István University, Faculty of Food and Agricultural Sciences, Department of Food Science, Mosonmagyaróvár*
- WESSLING, Diana *A családi vállalkozás képviselője, résztulajdonos, WESSLING Cégcsoport; Representative family business, shareholder, WESSLING Holding GmbH & Co. KG, Altenberge, Germany*
- ZANATHY László Dr. *Felelős kiadó, ügyvezető igazgató, WESSLING Nonprofit Kft., Ügyvezető igazgató, WESSLING Hungary Kft.; Responsible publisher, CEO, WESSLING Nonprofit Ltd. CEO, WESSLING Hungary Ltd.*

Grafika / Graphic design: Adworks Kft., info@adworks.hu

Elérhetőségeink / Contact: H-1045 Budapest, Anonymus utca 6., +36 1 87 23 662, www.eviko.hu
sziget.tamas@wessling.hu, +36 30 39 69 109; konecsny.timea@wessling.hu, +36 20 53 51 160

Kéziratok fogadása / Receiving manuscripts: sziget.tamas@wessling.hu, konecsny.timea@wessling.hu

Hirdetés / Advertising: Konecsny Tímea, +36 20 53 51 160, konecsny.timea@wessling.hu

A lap negyedévente, elektronikus formában jelenik meg. / This journal appears quarterly in a year, in electronic form.

Minden jog fenntartva! / All right reserved!

A kiadó írásbeli hozzájárulása nélkül tilos a kiadvány bármilyen eljárással történő sokszorosítása, másolása, illetve az így előállított másolatok terjesztése. / Without the written permit of the publisher, duplication, copying or dissemination of this paper by any way is prohibited.

Az Élelmiszervizsgálati Közleményeket a Wessling Nemzetközi Kutató és Oktató Központ Nonprofit Kft. adja ki a Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatallal (NÉBIH) együttműködve. / This Journal of Food Investigation is issued by the Wessling International Research and Educational Centre Nonprofit Ltd. with cooperation the National Food Chain Safety Office (NÉBIH).

A szakfolyóiratot a következő figyelő szolgáltatások vették jegyzékbe és referálják / The Journal of Food Investigation is have been referred and listed by the next monitoring services: SCOPUS, SCIMAGO, MATARKA / *Hungarian Periodicals Table of Contents*, Magyar Tudományos Akadémia Könyvtár és Információs Központ, Magyar Tudományos Művek Tára / *Hungarian Academy of Sciences, Library of Information Centre, Hungarian Scientific Bibliography Database* / *Publishers International Linking Association Inc. (Crossref (DOI) Registration Agency)*