

# **SZAKDOLGOZAT**

SZAKDOLGOZAT KOTZ Eszter Petra

**KOTZ ESZTER PETRA**

**2022**



**Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem**  
**Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet**  
**Biomérnök és Erjedéssipari Technológia Tanszék**

## **Édesvízi zöldalga bioaktív komponenseinek vizsgálata**

Szakdolgozat

**Kotz Eszter Petra**

Biomérnök BSc.

**Budapest**

**2022**

*Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem*  
*Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet*

Szak neve: BSc Biomérnöki

Modul neve: Alkalmazott biotechnológia

Modul szerinti tanszék: Biomérnök és Erjedésipari Technológia Tanszék

Szakkolgozat készítés helye: Biomérnök és Erjedésipari Technológia Tanszék

Hallgató: Kotz Eszter Petra

A szakkolgozat címe: Édesvízi zöldalga bioaktív komponenseinek vizsgálata

Konzulens: Dr. Kohári-Farkas Csilla, egyetemi adjunktus

Beadás dátuma: 2022.11.09.

---

**Dr. Nguyen Duc Quang**

Tanszékvezető

*Dr. Kohári-Farkas Csilla*

---

**Dr. Kohári-Farkas Csilla**

Témavezető

---

**Dr. Nguyen Duc Quang**

Modul szerinti tanszék vezetője

# TARTALOMJEGYZÉK

<b>1</b>	<b>BEVEZETÉS</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>MUNKA CÉLJA</b> .....	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>IRODALMI ÁTTEKINTÉS</b> .....	<b>7</b>
3.1	Az algák általános jellemzése.....	7
3.2	Mikroalga bioreaktorok.....	8
3.3	Mikroalgák biotechnológiai potenciálja.....	9
3.4	Bioaktív komponensek.....	10
3.4.1	Pigmentek.....	11
3.4.2	Zsírsavak .....	12
3.4.3	Fenolos vegyületek.....	12
3.4.4	Aszkorbinsav .....	14
3.5	Algatechnológiák és a modern hulladékkezelés.....	14
<b>4</b>	<b>ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK</b> .....	<b>16</b>
4.1	Anyagok .....	16
4.1.1	Mikroalga .....	16
4.1.2	Alga tápoldatok .....	16
4.2	Módszerek.....	17
4.2.1	Levegőztett fotobioreaktor .....	17
4.2.2	Liofilizálás.....	18
4.2.3	Extrakciós technikák .....	18
4.2.4	Bioaktív komponensek mérése.....	19
4.2.4.1	Teljes polifenol tartalom .....	19
4.2.4.2	Teljes flavonoid tartalom.....	20
4.2.4.3	Antioxidáns kapacitás meghatározása.....	20
4.2.4.4	Pigmenttartalom mérése .....	21
<b>5</b>	<b>EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK</b> .....	<b>22</b>
5.1	Sejtfeltárási és extrakciós technikák hatása.....	22
5.2	Alga tápoldatok összetételének hatása a bioaktív komponensek termelésére.....	23
5.2.1	Szervetlen természetű tápoldatok hatása.....	24
5.2.2	Tárolás hatása a bioaktív komponensek stabilitására .....	27
5.2.3	Gyümölcs- és zöldség alapú tápoldatok .....	30
5.2.3.1	Szubsztrátum koncentráció hatása.....	32
<b>6</b>	<b>ÖSSZEFOGLALÁS</b> .....	<b>35</b>
<b>7</b>	<b>IRODALOMJEGYZÉK</b> .....	<b>37</b>

# 1 BEVEZETÉS

Napjainkban egyre nagyobb hangsúlyt kap a fenntarthatóság és a fenntartható fejlődés kérdésköre. A megújuló és megújítható erőforrások iránti igény igen nagymértékben nő, ami új és újszerű alternatívák felkutatását és alkalmazhatóságuk egyre szélesebb megismerését és fejlesztését eredményezi. A mikroalgák, mint megújuló természeti erőforrások számos kedvező tulajdonsággal és felhasználási lehetőséggel szolgálnak a globális környezeti problémák enyhítésére is.

A mikroalgákban rejlő potenciált már az élelmiszeripar, a mezőgazdaság, a gyógyszerészet és a kozmetika, sőt már a bioműanyag és bioenergetikai ágazat is felismerte. A mikroalgák számos értékes komponenst, mint fehérjéket, szénhidrátokat, lipideket, pigmenteket, vitaminokat, ásványi anyagokat stb. állítanak elő. A mikroalgák alkalmazásának elterjedése mellett szól, hogy a magas tápanyagtartalom túl a szélsőséges környezeti viszonyokhoz jól alkalmazkodnak, ezáltal könnyen tenyészthetők.

A tenyésztésük ma már többnyire zárt rendszerekben, különböző kialakítású fotobioreaktorokban történik. A kisebb helyigénynek köszönhetően gazdaságosan érhető el nagyobb algabiomassza hozam, továbbá a technológiai tényezők szabályozásának köszönhetően a tenyésztés az értékes komponens(ek) termelésére optimált körülmények között történhet. A fotoszintetikus mikroalgák szaporodásukhoz a fényenergia mellett szénforrásként CO<sub>2</sub>-ot igényelnek. A mikroalgák heterotróf módon, a környezetük szerves természetű szénforrásaiban rejtett energiát is hasznosítani tudják. A felismerés, miszerint az algák a szennyvizek szervesanyagtartalmának (valamint akár nehézfémek) csökkentésére igen jól hasznosíthatók, hívta fel a figyelmet az élelmiszerhulladékok mikroalga tápoldatként történő alkalmazhatóságának kutatására. A mikroalgák ipari tenyésztésére alkalmazott szerves természetű tápközegek (BG-11, BBM, M4N, stb.) mellett egyre több kutatásban vizsgálják a növényi maradványok, mint a magas tápanyagtartalmú gyümölcs- és zöldségmaradványokból előállított tápközegek hatását a mikroalgák tenyésztésére és az értékes metabolitok termelésére vonatkozóan.

A mikroalga szervezetek több olyan antioxidáns hatású bioaktív komponenst termelnek, amelyek a kereskedelmi forgalomban elérhető gyógyszerekben, étrendkiegészítőkben is megtalálhatók. A bioaktív komponensek között kiemelt szerepet kapnak a fenolos vegyületek, valamint a természetes színezőanyagok (pigmentek) (klorofilok, karotinoidok) is. Mindamelllett, hogy a mikroalgákkal nagy mennyiségben állíthatók elő ezen értékes termékek,

kutatómunkám során célul tűztem ki a szerves és növényi alapú, szerves természetű tápoldat hatásának összehasonlítását a bioaktív komponensek termelésére vonatkozóan.

## **2 MUNKA CÉLJA**

Kutatómunkám a szintetikus és növényi természetű, szerves tápoldatokban tenyésztett édesvízi *Scenedesmus rubescens* mikroalga izolátum bioaktív komponenseinek vizsgálatára irányul. A kutatási téma az algatechnológiák fejlesztése mellett, a növényi élelmiszerhulladékok értékteremtő hasznosítását is érinti. Az ellátási lánc mentén, a különböző ipari tevékenységek és a háztartások évente nagy mennyiségben termelnek ki növényi maradványokat, amelyek az algák számára kiváló tápanyagforrásként szolgálhatnak. Az alga-termesztés technológiai költségei ezáltal csökkenthetők, a környezet számára pedig kedvezőbb hulladékkezelési stratégiát biztosíthatunk.

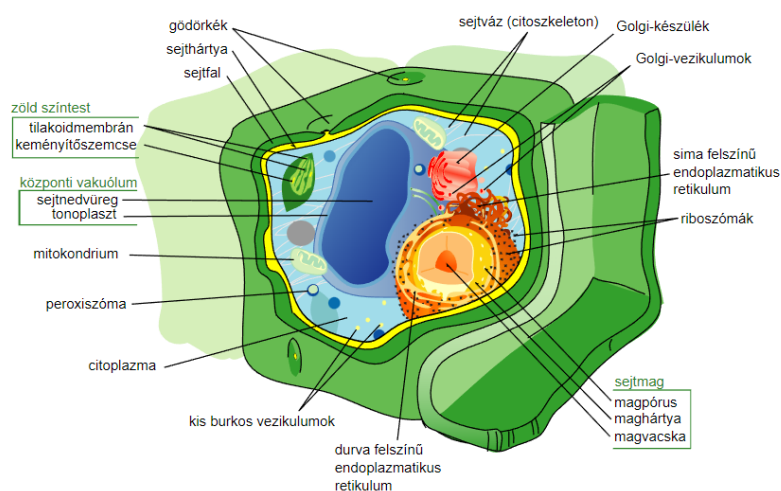
Kutatómunkám során az alábbi részfeladatokat tűztem ki célul:

- 1. Sejtfeltárási és extrakciós technikák hatásának vizsgálata a liofilizált algabiomassza bioaktív komponenseinek kinyerésére.**
  - a. szerves oldószeres technikák
  - b. mechanikai behatásokkal (ultrahanggal és mikrohullámmal) együttesen alkalmazott szerves oldószeres technikák
- 2. Különböző tápoldatok hatásának vizsgálata a bioaktív komponensek termelésére.**
- 3. Tárolás hatásának vizsgálata a bioaktív komponensek stabilitására.**

### 3 IRODALMI ÁTTEKINTÉS

#### 3.1 Az algák általános jellemzése

Az algák többnyire vízi, fototróf és sejtmaggal rendelkező eukarióta szervezetek (kivételet képeznek a cianobaktériumok), amelyek a növények valódi gyökereivel, szárával, leveleivel, valamint speciális, többsejtű szaporodási struktúráival nem rendelkeznek. Az algasejteket szilárd sejtfal veszi körül. Az algasejtekben a sejtmag, a zöld színtest (kloroplasztisz) és a mitokondrium kettős membránnal határolt (1. ábra) (Andersen és Lewin 2021).



1. ábra: Az algasejt általános felépítése (Aswartha 2021)

Az algák sejtjei számos olyan tulajdonságot hordoznak, amelyek nem találhatók meg a növények és az állatok között, továbbá asszimiláló pigmentjeik (színanyagaik), mint a klorofilok és más festékanyagok is változatosabbak a növényekénél. Az algák osztályozása az újabb rendszertani információk felfedezésével folyamatosan és gyorsan változik. Az osztályozásuk a testfelépítésük, a színanyagaik, a tartaléktápanyagaik és szaporodásmódjuk alapján történhet. Méretük rendkívül variábilis, a természetben a 0,2-2  $\mu\text{m}$  átmérőjű pikoplanktontól a 60 méter hosszú óriás moszatokig előfordulhatnak. A Föld élőhelyeinek széles skáláján megtalálhatók a talajtól a vízig és igen jól alkalmazkodnak a szélsőséges éghajlati körülményekhez is (Andersen és Lewin 2021; Nayaka *et al.* 2017).

Az algák szerepe kulcsfontosságú, hiszen táplálékforrásként szolgálnak szinte minden egyes vízi élőlény számára, sőt emberi fogyasztásra és állati takarmányok előállítására is igen alkalmasak lehetnek. Az algák mindemellett biztosítják a Föld oxigénjének jelentős részét,

valamint a szén-dioxid tárolásával és hasznosításával az üvegházhatású gázok környezetet terhelő hatását is mérsékelni tudják. Az algák biotechnológiai potenciáljának megismerése egyre intenzívebben kutatott területté vált az elmúlt évtizedek során (Andersen és Lewin 2021).

### 3.2 Mikroalga bioreaktorok

A mikroalgák számos olyan tulajdonsággal rendelkeznek, amelyek előnyként hasznosíthatók a biotechnológiai alkalmazások terén, sőt az általuk termelt metabolitok ipari ágazatok számára biztosíthatnak (közti)termékeket, valamint a már meglévő termékeiknek fenntarthatóbb változatot. A mikroalgák tenyésztésére és az értékes metabolit termékek előállítására igen nagy hatást fejtenek ki az olyan technológiai tényezők, mint a tápanyagok (szén- és nitrogénforrás, ásványi anyagok stb.), a környezeti feltételek (hőmérséklet, kémhatás, oldott oxigénszint stb.) és a tenyésztedény kivitelezése.

A mikroalgák alkalmazása mellett szól, hogy nagy a biodiverzitásuk, rövid időn belül kedvező algabiomassza hozam (termelékenység) érhető el azáltal, hogy zárt térben, bioreaktorokban is tenyészthetők és kis helyigénnyel rendelkeznek. A zárt rendszerek további előnyeként említhető (a nyitott rendszerekkel szemben), hogy a szabályozott környezetben a befertőződés kockázata lényegesen csökken, valamint a tenyésztési feltételek optimalizálásával a mikroalgák metabolikus plaszticitása orientálható (D'Imporzano *et al.* 2018; Yan *et al.* 2016). A bioreaktorok fényáteresztő falúak, a fényellátás így kedvezőbbé tehető. A fotoszintézis során a mikroalgák csak a 400-700 nm hullámhossztartományba eső fényenergiát hasznosítják, ami a természetes megvilágítás (napfény) energiájának közel 42 %-át teszi ki. Ezért a tenyésztés során gondoskodni kell a megvilágítás mennyiségéről és minőségéről is. A fotoszintézis végbemehet direkt, valamint szórt fényben, továbbá a természetes mellett mesterséges fényforrás jelenlétében is. A mikroalga, valamint a termelni kívánt értékes metabolit természetéből adódóan a megvilágítás lehet időközönkénti (periódikus), sötét szakaszokkal egybekötött, valamint folytonos is. A nem megfelelő tenyésztési körülmények azonban a falakon algaüledést okoznak, ami a megvilágítás hatékonyságát csökkenti. A bioreaktorokban a párolgási veszteség nem okoz problémát. A zárt bioreaktor konstrukciók között elsősorban a csőreaktor és a „flat-plate” reaktor alkalmazása terjedt el (Carvalho *et al.* 2006). A fotoszintetikus szervezetek tenyésztése során elegendő a fényenergia és a CO<sub>2</sub> jelenléte. A növekedéshez hasznosított CO<sub>2</sub> származhat füstgázból, valamint tiszta formában is betáplálható a reaktorba. Egyes mikroalgák heterotróf anyagcserét is mutatnak, ekkor fényenergia jelenlétében hasznosítják a környezetben található szerves anyagokban rejtett



szénforrást. A mikroalgák többsége a 20-40 °C hőmérséklet tartományban és 6-8 pH tartományban mutat megfelelő anyagcseréjét és szaporodást (Bocsi, 2016).

### 3.3 Mikroalgák biotechnológiai potenciálja

Az algák új és újszerű hasznosítási lehetősége rendkívül széles spektrumon mozog, köszönhetően annak, hogy számos értékes komponens előállítására igen alkalmas termelő szervezetek. Az algák ma már potenciált mutatnak több ipari tevékenységben is, mint az élelmiszeriparban, a mezőgazdaságban, a gyógyszeriparban, a bioenergetikai ágazatban, sőt a modern hulladékkezelésben (szennyvíztisztítás, bioremedáció) is. Ahogy napjainkban a fenntarthatóság minél inkább előtérbe kerül, úgy foglalkoznak a kutatók és gyártók is egyre többet az algákkal, ezen belül is nagyjából a mikroalgákkal, mint megújuló természeti erőforrások kiaknázásának megismerésével (Ammar *et al.* 2020).

A mikroalga kutatások terén régóta ismert, hogy néhány alga faj, mint a *Spirulina platensis* is, igen magas fehérjetartalommal rendelkezik. Az alga fehérjék kedvezőbb tápértékkel bírnak, mint a búzából, rizsből, zöldségekből származó növényi fehérjék, így egyre gyakrabban alkalmazzák azokat élelmiszerek és takarmányok alternatív fehérjeforrásaként. Az alga fehérjéknek fokozott az emészthetősége, továbbá megtalálható bennük az összes esszenciális aminosav, beleértve a lizint és a metionint is, amelyekről ismert, hogy jótékonyan hatnak az állatok növekedésére (Vanthoor-Koopmans *et al.* 2013). A mikroalgák gazdagok vitaminokban (A, B1, B2, B12, C, E), ásványi anyagokban (K, Fe, Mg, Ca), fikocianinban, karotinoidokban (asztaxantin, lutein, likopin), fenolos vegyületekben is (Gong és Bassi 2016).

Egyes mikroalgákban nagy mennyiségben lipidek és szénhidrátok (keményítő) halmozódhatnak fel. A lipidek nagyrészt semleges triacilglicerinekből (TAG), poláros glikolipidekből és foszfolipidekből állnak. A TAG-ok a mikroalgák anyagcseréjének fő energiatároló vegyületei, amelyek az újabb generációs biodízel, valamint táplálékkiegészítők előállításának alapjául szolgálnak (Xin *et al.* 2017). A mikroalgák keményítő tartalma energetikai célokra szintén hasznosítható, ezáltal újabb generációs bioetanol hozható létre. A bioüzemanyagok körében napjainkban az első generációs biodízel és a bioetanol használata terjedt el. A technológia ezekben az esetekben olajban, cukrokban (szacharóz) és összetett szénhidrátokban (keményítő) gazdag mezőgazdasági kultúrnövényeken (repce, cukornád, kukorica, búza) alapul, amelyek ilyen célú levezetése hosszú távon az élelmezési aggályok miatt nem tartható fent. Alternatív úton, a gyorsabban termesztendő, kisebb helyigénnyel rendelkező, magas lipid és keményítő tartalmú algakultúrákkal a jövőben kiváltható lenne a technológia alapanyagforrása (Grossmann *et al.* 2019). A mikroalgák keményítőtartalma

emellett átalakítható biopolimerekké is, mint polihidroxialkanoáttá (PHA), politejsavvá (PLA) stb., amelyek a szintetikus polimerek részbeni kiváltását teszik lehetővé, ezáltal hozzájárulnak a napjainkban igen aktuális bioműanyagok előállításának fejlesztéséhez (Zhang *et al.* 2019).

A számos felhasználási potenciál mellett a mikroalgák a szennyvíztisztításban, a nehézfémek és szerves vegyületek remediációjában, valamint a biohidrogén és bioelektromosság termelésben is rendkívül kedvező lehetőségeket kínálnak. A mikroalgák többsége képes a szerves és szervetlen tápanyagokat (nitrogén, foszfor és szén) is hasznosítani, valamint nyom- és nehézfémeket tudnak felvenni a környezetükből (szennyvízből), így a velük történő szennyvízkezelést már több évtizede alkalmazzák és a hagyományos szennyvízkezelés fenntarthatóbb alternatívájaként tartják számon. Mindamelllett, hogy a szennyvízben tenyésztett mikroalgákat már nem tudják élelmiszerként vagy takarmányként hasznosítani, biomasszájuk energiatermelésre (bioetanol, biogázok, valamint bioolajok formájában) hasznosítható (Chew *et al.* 2017).

### **3.4 Bioaktív komponensek**

A bioaktív vegyületek olyan másodlagos anyagcseretermékek, amelyeknek kedvező biológiai hatása igen nagy változatosságot mutat. Ma már számos nemzetközi kutatás is alátámasztotta azok egészségre gyakorolt jótékony hatását. Ezek között említhető az antimikrobiális, az antioxidáns, a daganatellenes, a gombaellenes, a vírusellenes hatás. A funkcionális tulajdonságok az adott molekula (molekulakészlet) természetéből erednek. A kutatások terén egyre inkább előtérbe kerülnek a bioaktív anyagok természetes forrásokból történő előállítása, és az emberi betegségek kezelésére szolgáló gyógyszerek és táplálékkiegészítők fejlesztése. A mikroalgák természetes forrásai a bioaktív vegyületeknek, amelyek közvetlenül a tápoldatból, vagy az algabiomassza feltárását követően kinyerhetők. A mikroalgák körében nagy érdeklődés övezi a fenolos vegyületek, a karotinoidok, a fikocianinok, a pigmentek, a zsírsavak (többszörösen telítetlen zsírsavak, PUFA) termelését és alkalmazhatóságuk megismerését. A mikroalgák által termelt bioaktív komponensek között ma már ismertek olyan antioxidáns hatású anyagok is, mint a dimetil-szulfon-propionát és a mikosporinszerű aminosavak, amelyek hatékonyan blokkolják az UV-sugárzást. A mikroalgák által termelt antioxidáns hatású molekulák a sejtek védelmére szolgálnak a biotikus vagy abiotikus stressz faktorok hatására keletkező reaktív oxigéngyökök (ROS) ellen (Mata *et al.* 2010).

### 3.4.1 Pigmentek

A pigmentek molekuláris gerincét hosszú láncú vagy zárt gyűrűkből álló konjugált kettős kötések alkotják. Az összetett konjugált gyűrűrendszerek teszik lehetővé, hogy a pigmentek erősen elnyeljék a fényt látható tartományában. Az algák számos pigmentet termelnek, amelyek három fő osztályba: a klorofilok, a karotinoidok (karotinok és xantofilok) és a fikobilinok közé sorolhatók (Silva *et al.* 2020). Az algák gazdag forrásai az antikarcinogén, antioxidáns hatású bioaktív színezőanyagoknak, sőt azokat a különböző növényekhez képest nagyobb mennyiségben is termelik. A kedvező élettani hatásaiknak köszönhetően a bioaktív komponensek intenzíven kutatott csoportját alkotják. Az alábbi 1. táblázat néhány pigmentben gazdag mikroalgát szemléltet.

1. táblázat: Mikroalgák és pigmentjeik (Begum *et al.* 2016 alapján)

Mikroalgafaj	Pigmentek	Hivatkozás
<i>Spirulina platensis</i>	klorofill	Chauhan és Pathak, 2010
<i>Spirulina maxima</i>	fikobilin	Tomasseli <i>et al.</i> 1997
<i>Dunaliella salina</i>	$\beta$ -karotin, klorofill	Pisal és Lele, 2005
<i>Haematococcus pluvialis</i>	asztaxantin	Imamoglu <i>et al.</i> 2009
<i>Scenedesmus almeriensis</i>	karotinoidok	Sanchez <i>et al.</i> 2008
<i>Chlorella protothecoides</i>	lutein	Wei <i>et al.</i> 2008
<i>Arthonema africanum</i>	fikocianin, allofikocianin	Chaneva <i>et al.</i> 2007
<i>Chlorella zofingiensis</i>	asztaxantin	Ip és Chen, 2005

A karotinoidok a terpenoidok családjába tartozó, zsírban oldódó molekulák, amelyek a sárga, narancs és a vörös színű algákra jellemzők. Főként a tilakoid membrán pigment-fehérje komplexekben vannak jelen, azonban egyes mikroalga fajok a kloroplasztisz sztrómájában vagy a citoplazmában található lipidgömböcskékben is képesek karotinoidokat felhalmozni. Szerepük egyrészt a fényenergia klorofilokhoz történő eljuttatása, másrészt a fotoszintetikus rendszer védelme a ROS-ok ártalmatlanítása és keletkezésük gátlása által (Huang *et al.* 2017). A karotinoidok két csoportja a karotinok (csak szén- és hidrogénatomokat tartalmaznak) és a xantofilok (legalább egy oxigénatomot tartalmaznak). Ezek között igen népszerű az asztaxantin, a  $\beta$ -karotin, a lutein, a fukoxantin, a zeaxantin. Az asztaxantin erősen antioxidáns hatású, lényegi hatást fejt ki a gyulladás, a szabad gyökök okozta oxidatív stressz, a szív- és érrendszeri betegségek kezelésében. A karotinoidoknak nem csupán az egészségügyi és

gyógyászati alkalmazásuk ismert, hanem mint természetes élelmiszeripari színezékként (tejtermékekben, italokban stb.), takarmány adalékokként (mint az akvakultúrában), a kozmetikumok alkotójaként is alkalmazzák azokat (Michalak és Chojnacka 2015).

A klorofilok a zöldalgák fotoszintézisének fő fotoreceptorai, amelyeknek alapszerkezete négy gyengén aromás pirrol gyűrűből áll, amit tetrapirrolnak, másnéven porfirin váznak nevezünk. A pirrol gyűrűket egymással meténhidak kapcsolják össze. Az algákban két fő klorofilltípus, a klorofill *a* és a *b* dominál, amelyeknek a megkülönböztetése a "B" pirrol gyűrűnél történik. A klorofill *a* esetében a gyűrű 7 metilcsoportot, a klorofill *b* esetében 7 formilcsoportot tartalmaz. A fotoszintézis során a klorofill *a* a fő pigment, míg a klorofill *b* kiegészítő pigmentként funkcionál. A klorofilokat elsősorban élelmiszeripari színezékként használják, ami mellett kozmetikai célú alkalmazása is ismert (Begum *et al.* 2016).

### 3.4.2 Zsírsavak

Egyre nagyobb érdeklődés övezi a mikroalgák felhasználását a többszörösen telítetlen, hosszú láncú zsírsavak (PUFA-k) terén. Míg a PUFA-kat (mint az omega-3 vagy -6 zsírsavak) tartalmazó táplálékkiegészítőkről kimutatták, hogy jelentős egészségügyi előnyökkel járnak, a PUFA-k halolajból történő hagyományos előállítására nem fenntartható halászati módszerekkel történik, amelyek a globális halászatot kimerítik és a nehézfém-szennyezés kockázatát is magukban hordozzák. Alternatív megoldásként a PUFA-k legkülönbözőbb algaolajokból történő kivonása ipari szinten is előnyben részesül. A *Cryptocodinium*, *Nannochloropsis*, *Phaeodactylum*, *Monodus*, *Nitzschia*, és az *Isocrysis* nemzetséghez tartozó algafajok ígéretes termelő szervezetei az étrend-kiegészítőknek szánt PUFA-k ipari előállítására (Mutanda *et al.* 2011).

### 3.4.3 Fenolos vegyületek

A fenolos vegyületek nagy molekulacsaládot alkotnak. A molekulák legalább egy aromás gyűrűt tartalmaznak, amelyekhez közvetlenül egy vagy több hidroxilcsoport kapcsolódik. Fő képviselőik a fenolsavak, a tokoferolok, a flavonoidok, a tanninok, valamint a sztilbénok és lignánok (Dai és Mumper 2010). A fenolos vegyületek az antioxidáns hatású vegyületek fontos csoportját alkotják a magasabb rendű növényekben és a makroalgákban, azonban mára már kimutatták, hogy a fenolos vegyületek lényegesen hozzájárulnak a mikroalga-kivonatok antioxidáns kapacitásához is (Coulombier *et al.* 2021). A mikroalgákban eddig azonosított fő molekulák a floroglükinol, valamint a hidroxibenzoésavból, hidroxiben-

fahéjsavból származó fenolsavak, emellett számos tanulmány kimutatta a flavonoidok gyenge koncentrációjú jelenlétét is. A fenolok antikarcinogén és antiproliferatív hatását emlő-, vastagbél-, prosztatata- és humán leukémiás tumorsejtvonalakon, valamint különböző ráktípusok esetén állat kísérletek során modellezték és dokumentálták (Dai és Mumper 2010). Emellett a polifenolokban gazdag étrend-kiegészítők fogyasztását, különösen a korai fejlődési szakaszban, pozitív kognitív eredményekkel hozták összefüggésbe Down-szindrómás és rokon rendellenességekben szenvedő betegek esetén (Vacca *et al.*, 2016). A fenolok további előnyös hatásai közé tartoznak az antimikrobiális, gyulladásgátló és antibiofilm hatások (Jagani *et al.*, 2009, Zhang *et al.*, 2011, Borrás-Linares *et al.*, 2015). Az alábbi 2. táblázat néhány fenolos vegyületben gazdag mikroalgát szemléltet.

**2. táblázat:** Mikroalgák és fenolos vegyületeik (Andrade *et al.*, 2018; Haoujar *et al.*, 2019 alapján)

Mikroalgafaj	Fenolos vegyületek
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	dimetoxiflavon protokatekuin sav kávésav
<i>Nannochloris</i> sp.	katekin kaempferol
<i>Tetraselmis suecica</i>	para-kumaril-tirozin apigenin-O-rutinozid
<i>Nannochloropsis gaditana</i>	kvercetin feruloil-glukársav
<i>Chlorella minutissima</i>	floroglucin para-kumársav

A tokoferolok különböző metilezett fenolokból álló szerves vegyületek sorozata, amelyek elsősorban a kloroplasztiszokban találhatóak. A legfontosabb az  $\alpha$ -tokoferol (E-vitamin), amely zsíroldékony, erősen antioxidáns hatású vegyület, védelmet nyújt az  $O_2$ ,  $O_3$  és  $NO_2$  által okozott sérülésekkel és a nitrózaminok képződésével szemben. Hatásmechanizmusa alapján az E-vitamin az egyik elektronját leadja az elektronhiányos szabadgyököknek, így az stabilabbá válik. Amellett, hogy az E-vitamin ellátja antioxidáns funkcióit, a többi antioxidánst is védi az oxidációtól (Poljsak *et al.*, 2011).

A fenolos vegyületek külön osztályát képezik a flavonoidok, amelyek általános szerkezete és egyes szerkezeti összetevői jelentősen hozzájárulnak az antioxidáns hatásuk

mértékéhez. Klejduš és munkatársai (2010) kutatásai kimutatták, hogy a flavonoidok számos osztálya, például izoflavonok, flavanonok, flavonolok és dihidrokalkonok megtalálhatók a mikroalgákban. Ez azt jelzi, hogy bár a mikroalgák evolúciós szempontból primitívebbek, mint a szárazföldi növények, vagy akár teljesen más evolúciós vonalhoz tartoznak, mégis képesek viszonylag összetett polifenolok előállítására (Goiris *et al.*, 2012). Kémiai szerkezetükből adódóan a flavonoidok antioxidáns hatásuk mellett más érdekes, egészségre előnyös tulajdonságokkal is rendelkeznek. Úgy tűnik, hogy a több hidroxilcsoport jelenléte alapvető fontosságú a cink-metalloproteinázok gátlásában, beleértve az angiotenzin konvertáló enzim (ACE) gátlását is. Az olyan flavonoidok, mint a luteolin, a kvercetin és a rutin nagyon hatékonyak tűnnek a szív- és érrendszeri betegségek kezelésében, köszönhetően a katekol B-gyűrű mellett egy 4-oxo-funkcióval konjugált telítetlen 2-3 kötés jelenlétének (Del Mondo 2021).

#### **3.4.4 Aszkorbinsav**

Az aszkorbinsav vízben oldódó antioxidáns hatású molekula. Elsősorban a kloroplasztiszokban van jelen, ahol az aszkorbát-glutation ciklus során a hidrogén-peroxid méregtelenítésében betöltött szerepe mellett elektronátvitel útján közvetlenül semlegesíti a szuperoxid- és hidroxilgyököket. Az aszkorbinsav a fotoszintetikus apparátus védelmében is részt vesz a xantofill-ciklus karotinoidjainak és a membránokhoz kötött tokoferol regenerációjában történő részvételén keresztül (Gulcin 2020).

### **3.5 Algatechnológiák és a modern hulladékkezelés**

Az ellátási lánc mentén, az ipari tevékenységek, valamint a háztartások által éves szinten nagy mennyiségben kitermelt szerves hulladékok, ezen belül is a zöldség- és gyümölcs maradványok igen jelentős hányadot tesznek ki. A szerves hulladékok kezelése, deponálása világszinten problémát jelent, ugyanis a személtlerakókban anaerob bomlási folyamatok eredményeként környezetet terhelő üvegházhatású gázok keletkeznek és kerülnek a légkörbe. Ezért a szerves hulladékok hasznosítása iránt mind gazdasági, mind ökológiai szempontok miatt egyre nagyobb az érdeklődés. A gyümölcs- és zöldségmaradványok olyan természeti erőforrások, amelyek számos értékes komponenst tartalmaznak, így nagy mennyiségben és viszonylag olcsón elérhető tápanyagot biztosíthatnak a mikroalgák termesztésének és újabb értéknövelt termékek előállításának. A zöldség-és gyümölcs maradványok értelmes hasznosítása társadalmi kötelezettségünk. A maradványok között jelentős arányban találhatóak a héjak, a magvak és a préselvények (rostok), amelyek a növény tömegének akár 40 %-át is

kitehetik (Essien *et al.*, 2005; Lim *et al.*, 2010). Az alábbi 3. táblázat szerves természetű tápoldatokban adott környezeti feltételek mellett tenyésztett mikroalgafajokat és termékeit foglalja össze.

**3. táblázat:** Növényi-alapú algatápoldatok és előállított alga termékek (Ammar *et al.*, 2020 alapján)

Mikroalgafaj	Szubsztrátum	Tenyésztés	Termékek	Hivatkozás
<i>Chlorella vulgaris</i>	Élelmiszer-hulladék	Mixotróf	Lipidek	Chew <i>et al.</i> 2018
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	Élelmiszer-hulladék	Heterotróf	Lipidek, fehérjék	Pleissner <i>et al.</i> 2013
<i>Chlorella sp.</i>	Élelmiszer-hulladék	Mixotróf	Lipidek, lutein	Wang <i>et al.</i> 2020
<i>Auxenochlorella protothecoides</i>	Élelmiszer-hulladék	Heterotróf	Lipidek	Patel <i>et al.</i> 2019
<i>Chlorella sorokinana</i>	Élelmiszer-hulladék	Heterotróf	Proteinek	Haske-Cornelius <i>et al.</i> 2020
<i>Galdieria sulphuraria</i>	Éttermi-hulladék	Heterotróf	Lipidek	Sloth <i>et al.</i> 2017
<i>Scenedesmus sp.</i>	Konyhai szerves hulladék	Mixotróf	Lipidek	Zhang <i>et al.</i> 2018
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	Élelmiszer-hulladék	Mixotróf	PUFA	Wang <i>et al.</i> 2020
<i>Aurantiochytrium sp.</i>	Élelmiszer-hulladék	Heterotróf	DHA, szkvalén	Patel <i>et al.</i> 2020
<i>Golenkinia sp.</i>	Élelmiszer-hulladék	Mixotróf	Biogáz, lipidek	Hou <i>et al.</i> 2020

Chiu és munkatársai (2009) kutatásaik során megállapították, hogy az alga termelékenysége és értékes komponenseinek mennyisége növelhető a tenyésztési körülmények, különösen a tápoldatok összetételének optimalása által. A vizsgálatba bevont *Chlorella vulgaris* algafajt különböző tápoldatokban, mint szintetikus Bristol-tápoldatban és szerves anyagok, hulladékok hidrolizátumait tartalmazó oldatokban is termesztették. A fajlagos növekedési sebességet 14 napon át követték nyomon. Kedvezőbbnek a hidrolizátumok 8:2 és 9:1 arányú hígításai bizonyultak, ezekben érték el magasabb fajlagos növekedési sebességet. A szerves természetű tápoldat tehát a mikroalga tápanyagigényét kielégítette, ami az algatechnológia költségeit is csökkentette. Limbu és munkatársai (2017) szintén *Chlorella vulgaris* szaporodását, valamint amellet az algafaj lipid és pigment termelését vizsgálták gyümölcs maradványok hidrolizátumait tartalmazó tápoldatokban. Az algabiomassza hozam, valamint az értékes komponensek termelése 75 %-os hidrolizátum tartalomig növekedést mutatott.

## 4 ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

### 4.1 Anyagok

#### 4.1.1 Mikroalga

Kísérleteim során a *Scenedesmus rubescens* édesvízi zöldalga törzs izolátumát alkalmaztam, amelyet az Albitech Kft. (Budapest) biztosított.

#### 4.1.2 Alga tápoldatok

Az alga-termesztés szerves (szintetikus), valamint szerves természetű tápoldatokban történt. Az alábbi 4. táblázat szemlélteti a szerves természetű BG11, BBM és M4N tápoldatok összetételét.

4. táblázat: BG11, M4N és BBM tápoldatok összetétele

Komponens (mg/l)	BG11	BBM	M4N
NaNO <sub>3</sub>	1500 mg	250 mg	-
KNO <sub>3</sub>	-	-	5000 mg
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	40 mg	175 mg	-
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	-	75 mg	1250 mg
CaCl <sub>2</sub> *2H <sub>2</sub> O	36 mg	25 mg	100 mg
NaCl	-	25 mg	-
MgSO <sub>4</sub> *7H <sub>2</sub> O	75 mg	75 mg	25000 mg
Ammónium-vas(III)-citrát	6 mg	-	-
FeSO <sub>4</sub> *7H <sub>2</sub> O	-	-	30 mg
Citromsav-monohidrát	6 mg	-	-
Na <sub>2</sub> EDTA	1 mg	-	-
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	20 mg	-	-
<b>Mikroelem törzsoldat (ml/l)</b>	1 ml	1 ml	1 ml
ZnSO <sub>4</sub> * 7H <sub>2</sub> O	222 mg	8820 mg	222 mg
MnCl <sub>2</sub> * 4H <sub>2</sub> O	1810 mg	1440 mg	1810 mg
MoO <sub>3</sub>	-	710 mg	-
Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> * 2 H <sub>2</sub> O	390 mg	-	390 mg
CuSO <sub>4</sub> * 5H <sub>2</sub> O	80 mg	1570 mg	80 mg
Co(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> * 6H <sub>2</sub> O	49,4 mg	490 mg	49,4 mg
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	2860 mg	-	2860 mg
desztillált víz	1000 ml	1000 ml	1000 ml
<b>Oldat 1</b>	-	1 ml	-
Na <sub>2</sub> EDTA	-	50000 mg	-
KOH	-	3100 mg	-
desztillált víz	-	1000 ml	-
<b>Oldat 2</b>	-	1 ml	-
FeSO <sub>4</sub>	-	4980 mg	-
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (tömény)	-	1 ml	-
desztillált víz	-	1000 ml	-



Szerves természetű tápoldatként hígított növényi présleveket használtam. A préslevek alapanyagát háztartásokban nem hasznosított: alma, almahéj, fejjessaláta levelek, karalábé szár és répa tette ki. A gyümölcs és zöldség maradványok préselése laboratóriumi prés gép segítségével történt. A tápoldatok kémhatását minden esetben pH 7 értékre állítottam be, 0,1 n NaOH és 0,1 n HCl oldattal. A tápoldatokat 300 ml-ként osztottam szét 500 ml-es csavaros lombikokba és azokat 121°C-on 15 percen át autoklávban steriliztem.

## 4.2 Módszerek

### 4.2.1 Levegőztett fotobioreaktor

A mikroalga izolátum tenyésztése levegőztetett fotobioreaktorokban történt. A laboratóriumi 500 ml-es bioreaktor felépítését az alábbi 2. ábra szemlélteti.



**2. ábra:** Mikroalga tenyésztése levegőztetett fotobioreaktorban (BG11 tápoldatban és hígított növényi présleiben)

A tápoldatokat steril körülmények között, lamináris fülke alatt BG11 tápoldatban előtenyésztett 30 ml (10 %) algaszuszpenzióval oltottam be. Az algaszuszpenzióban a kiindulási sejtkoncentráció  $4,7 \cdot 10^6$  sejt/ml volt. A csavaros lombikok (be- és kimenő) levegőztető nyílásaihoz steril levegőszűrőkkel ellátott steril szilikonsöveket csatlakoztattam. A levegőztetést kompresszor biztosította. Az alga tenyésztés 14, 28 és 56 napon át tartott, 1500

lumen folyamatos megvilágítás mellett, szobahőmérsékleten. A tenyésztés során az algasejtszám és a kémhatás alakulását ellenőriztem.

#### 4.2.2 Liofilizálás

A különböző tápoldatokban 14, 28 és 56 napon át tenyésztett mikroalga izolátumok értékes intracelluláris termékeinek, bioaktív komponenseinek mérése liofilizálását (fagyasztva szárítást) követően történt. A centrifugálással (10000 fordulat/perc, 10 perc) elválasztott nedves algabiomasszát 100 ml desztillált vízben oldottam vissza és a tápoldat komponensek maradéktalan kimosása érdekében ismételt centrifugálást indítottam. A tisztítási műveletet három, esetleg négy ciklusban végeztem el. A nedves algabiomasszát utolsó lépésben körülbelül 20 ml desztillált vízben oldottam vissza és a liofilizálás előtt -18 °C-on, fagyasztoóban tároltam. A fagyasztott algabiomassza szárítása (víztelenítése) a Christ Alpha LSC Plus (Martin Christ GmbH, Németország) típusú liofilizáló berendezésben történt. A szárítókamra hőmérséklete 18 °C volt. A szárítás vákuummal (0,25 mbar) történt. A liofilizátumok 24-48 óra alatt készültek el.

#### 4.2.3 Extrakciós technikák

Az algasejtek feltárása és a bioaktív komponensek kinyerése kétféle módon: egylépéses, szerves oldószeres eljárással, valamint mechanikai behatásokkal, ultrahanggal vagy mikrohullámmal együttesen történt. Az alábbi 5. táblázat az alkalmazott technikák beállításait szemlélteti.

**5. táblázat:** Sejtfeltárási és extrakciós technikák

Kísérlet száma	Módszer I.	Módszer II.	Hőmérséklet (°C)	Idő (perc)	Ismétlések száma
1.	Szerves oldószer (etanol:víz, 1:1 arány)	-	jégen hűtve	5	2
2.	Szerves oldószer (etanol:víz, 3:1 arány)	-	jégen hűtve	5	2
3.	Szerves oldószer (etanol:víz, 1:1 arány)	Ultrahang	jégen hűtve	5	2
4.	Szerves oldószer (etanol:víz, 3:1 arány)	Ultrahang	jégen hűtve	5	2
5.	Szerves oldószer (etanol:víz, 3:1 arány)	Ultrahang	jégen hűtve	15	2
6.	Szerves oldószer (etanol:víz, 3:1 arány)	Mikrohullám	jégen hűtve	2 (4x30 másodperc)	2

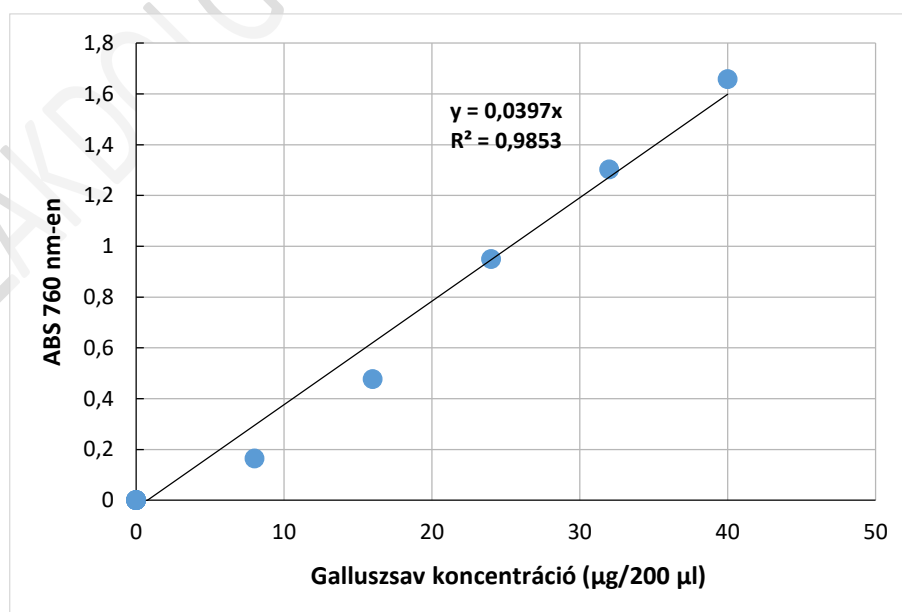
A méréseket BG11 tápoldatban 28 napon át tenyésztett és liofilizált algabiomasszán végeztem. Minden esetben 10 mg liofilizált algabiomasszát 1 ml szerves oldószerben, etanol vizes oldatában oldottam vissza (Bulut *et al.* 2019). Az előkezeléseket követően az extraktumot tartalmazó folyadékfázist (felülúszót) 14000 fordulat/perc sebességen, 5 percen át történő centrifugálással választottam el.

#### 4.2.4 Bioaktív komponensek mérése

##### 4.2.4.1 Teljes polifenol tartalom

A teljes polifenol tartalom (TPC, Total Polyphenol Content) meghatározása Folin-Ciocalteu reaktivitás (FCR, Folin-Ciocalteu Reactivity) méréssel történt. A reakció során a Folin-Ciocalteu reagens molibdén (VI) ionja a szerves oldószeres extraktumban található antioxidáns tulajdonságú vegyületektől elektront vesz fel. A reakció eredményeként kékes színű molibdén (V) ion keletkezik, amely spektrofotometriás úton, 760 nm hullámhosszon jól mérhető (Singleton és Rossi, 1965).

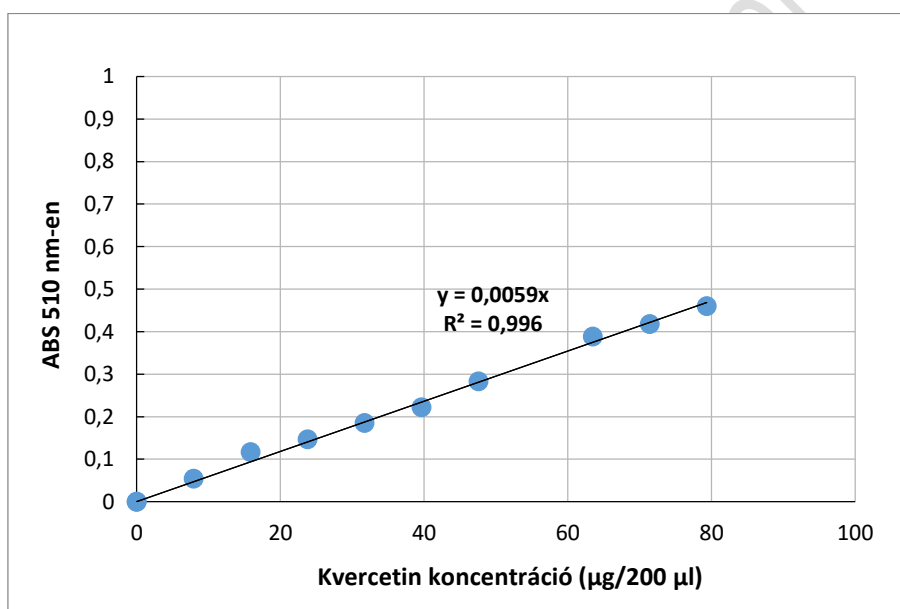
A mérés során 200  $\mu$ l (hígított) felülúszóhoz 800  $\mu$ l 10-szeresen hígított Folin-Ciocalteu reagenst adtam. A mintákat óvatosan összeráztam, majd azokat 5 percen át szobahőmérsékleten pihentettem. Ezután 1 ml 7,5 (m/v) %-os  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  oldatot pipettáztam a mintákhoz és azokat ismételten óvatosan összeráztam. A mintákat a mérés előtt 1,5 órán át sötét helyen tároltam. A minták reaktivitását galluszsav ekvivalens egységben határoztam meg. A galluszsavra felállított kalibrációt az alábbi 3. ábra szemlélteti.



3. ábra: Galluszsav kalibráció (10-400 mg/L galluszsav koncentráció)

#### 4.2.4.2 Teljes flavonoid tartalom

A teljes flavonoid tartalom mérése (TFC, **T**otal **F**lavonoid **C**ontent) alumínium-kloriddal történt (Zhishen *et al.*, 1999). A mérés során 200 µl (hígított) felülúszóhoz 800 µl desztillált vizet és 60 µl 5 (m/v) %-os NaNO<sub>2</sub> oldatot adtam. A mintákat óvatos összeráztam és 5 percen át azokat szobahőmérsékleten pihentettem. Ezt követően a mintákhoz 60 µl 10 (m/v) %-os AlCl<sub>3</sub> oldatot pipettáztam és azokat ismételten óvatosan összeráztam. A mérés előtt a mintákat 5 percen át pihentettem, majd a térfogatukat 400 µl 1M NaOH oldattal és 480 µl desztillált vízzel egészítettem ki. A minták abszorbancia értékeit 510 nm-en mértem. A minták flavonoid tartalmát kvercetin ekvivalens egységben határoztam meg. A kvercetinre felállított kalibrációt az alábbi 4. ábra szemlélteti.



4. ábra: Kvercetin kalibráció (10-400 mg/L kvercetin koncentráció)

#### 4.2.4.3 Antioxidáns kapacitás meghatározása

Az algakivonatok antioxidáns kapacitásának meghatározása a DPPH (1,1-difenil-2-pikrilhidrazil) gyökmegkötésén alapuló módszerrel történt. A DPPH egy stabil szabadgyök, melynek lila színe az antioxidánsok jelenlétében lezajlott reakció során elhalványul, esetleg elszíntelenedik. A klasszikus hidrogénatom-átvitelen alapuló reakció során a színintenzitás csökkenése, ezáltal tehát a szabadgyök gátlásának mértéke spektrofotometriás úton jól mérhető. A DPPH oldat elkészítéséhez 0,00142 g DPPH-t 100 ml metanolban oldottam, majd 100 µl felülúszót elegyítettem 3,9 ml DPPH oldattal. Ezután a mintákat 30 percig sötét helyen, szobahőmérsékleten inkubáltam. A minták abszorbancia értékeit 517 nm-en mértem.

A gátlási %-ot a következő egyenlet szerint számítottam:

$$\text{Gátlási \%} = \frac{(A_{\text{vakminta}} - A_{\text{minta}})}{A_{\text{vakminta}}} \cdot 100$$

#### 4.2.4.4 Pigmenttartalom mérése

Az algakivonatok pigmenttartalmának mérése spektrofotometriás úton történt. A klorofill (*a* és *b*), valamint a karotinoid tartalom számításánál Lichtenthaler és Buschmann (2001) egyenleteit alkalmaztam, amelyek az alábbiak:

$$c_a (\mu\text{g/ml}) = 16,72A_{665} - 9,16A_{652}$$

$$c_b (\mu\text{g/ml}) = 34,09A_{652} - 15,28A_{665}$$

$$c_{(x+c)} (\mu\text{g/ml}) = (1000A_{470} - 1,63c_a - 104,96c_b) / 221$$

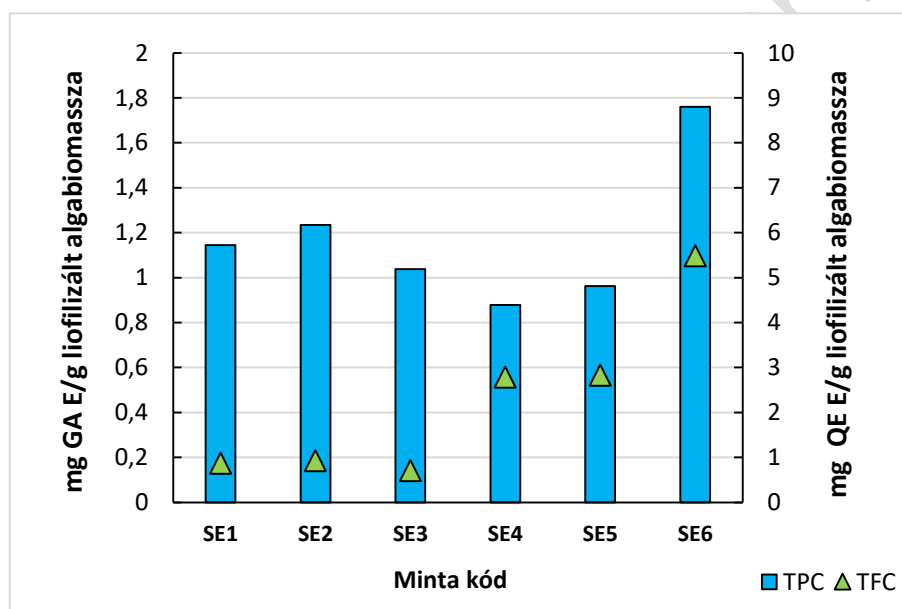
ahol,  $c_a$  és  $c_b$  a klorofill *a* és *b* koncentráció,  $c_{(x+c)}$  pedig a karotinoid koncentráció.

A pigmenttartalmakat  $\mu\text{g/g}$  liofilizált algabiomassza egységbe számítottam át.

## 5 EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

### 5.1 Sejtfeltárási és extrakciós technikák hatása

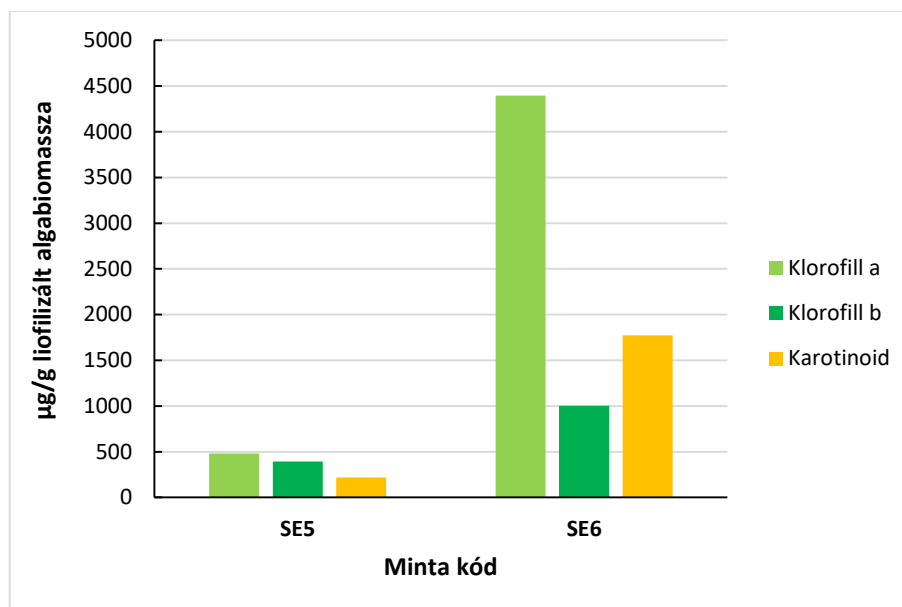
A liofilizált *Scenedesmus rubescens* mikroalga izolátum intracelluláris bioaktív komponenseinek (polifenol és flavonoid tartalom, klorofill *a*, klorofill *b*, karotinoidok) kinyerését 6 különböző technika alkalmazása mellett követtem nyomon. Az egy lépéses szerves oldószeres, valamint a fizikai előkezeléssel (ultrahanggal vagy mikrohullámmal) egybekötött, kombinált sejtfeltárási és extrahálási technikák hatékonyságát az alábbi 5. ábra szemlélteti. A kísérletek során előzetesen BG11 tápoldatban 28 napon át tenyésztett és liofilizált algabiomasszát használtam.



5. ábra: A sejtfeltárási és extrahálási technikákkal oldatba vitt összes polifenol (TPC) és flavonoid (TFC) tartalom

A szerves oldószer koncentráció nem fejtett ki lényegi hatást a felülúszók összes polifenol és flavonoid tartalmának alakulására. Az etanol és víz 1:1, valamint 3:1 arányban történő alkalmazása során a polifenol tartalom 1,14 és 1,23 mg GA E/g, a flavonoid tartalom pedig 0,87 és 0,93 mg QE E/g (SE1 és SE2 minta) között alakult. Az extrakció hatékonyságát növelte, amennyiben a liofilizátumot szerves oldószer jelenlétében fizikai behatással, ultrahanggal vagy mikrohullámmal kezeltem. Ezesetben az etanol és víz 3:1 arányú elegye bizonyult eredményesebbnek, a flavonoid tartalom ekkor 2,78 mg QE E/g értékre nőtt (SE4 minta). A továbbiakban a nagyobb szerves oldószer koncentráció mellett az ultrahangos kezelés időtartamát 5 percről 15 percre növeltem. Az oldatba vitt polifenol és flavonoid tartalom (SE5

minta) számottevően nem változott. Ennél kedvezőbb hatékonyságot a mikrohullámmal egybekötött kezelés mutatott, ahol a polifenolok mennyisége 1,76 mg GA E/g, a flavonoidok mennyisége pedig 5,49 mg QE E/g értéket ért el (SE6 minta).



**6. ábra:** A sejteltárási és extrahálási technikákkal oldatba vitt pigmentek mennyisége

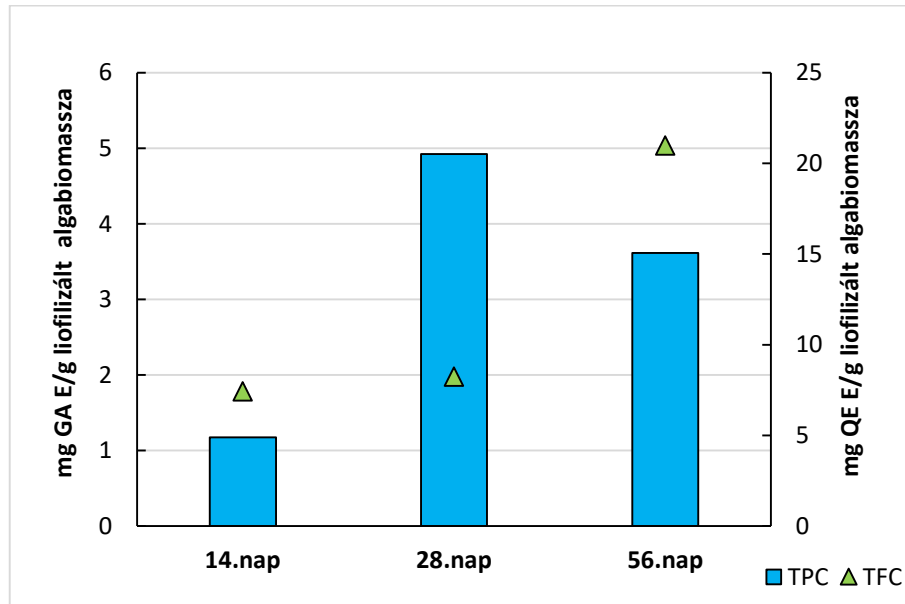
A pigmentek kioldására is eltérően hatottak az alkalmazott technikák. A kombinált (fizikai és kémiai) technikák alkalmazását követően, két esetben mértem klorofill *a*, klorofill *b* és karotinoid tartalmat. A pigmenttartalom szempontjából kedvezőbbnek a mikrohullámmal egybekötött szerves oldószeres extrakció bizonyult. Ekkor a klorofill *a* 4,39 mg/g, a klorofill *b* 1 mg/g, a karotinoid tartalom 1,77 mg/g volt. A mikrohullámmal segített extrakciót (MAE) korábban már sikeresen alkalmazták bioaktív természetű vegyületek növényi anyagokból és makroalgákból történő extrahálásánál (Sosa-Hernandez *et al.*, 2018). A módszer környezetbarátabb, gazdaságosabb, gyorsabb feltárást tesz lehetővé. Pasquet és munkatársai (2011) a mikrohullámú kezeléssel egybekötött szerves oldószeres extrakció hatékonyságát a *Dunaliella tertiolecta* pigment tartalmának kinyerése során szintén megerősítették. A további kísérleteim során a lyofilizált algasejtek feltáráshoz és az értékes bioaktív komponensek extrahálásához a mikrohullámmal kombinált technikát alkalmaztam.

## 5.2 Alga tápoldatok összetételének hatása a bioaktív komponensek termelésére

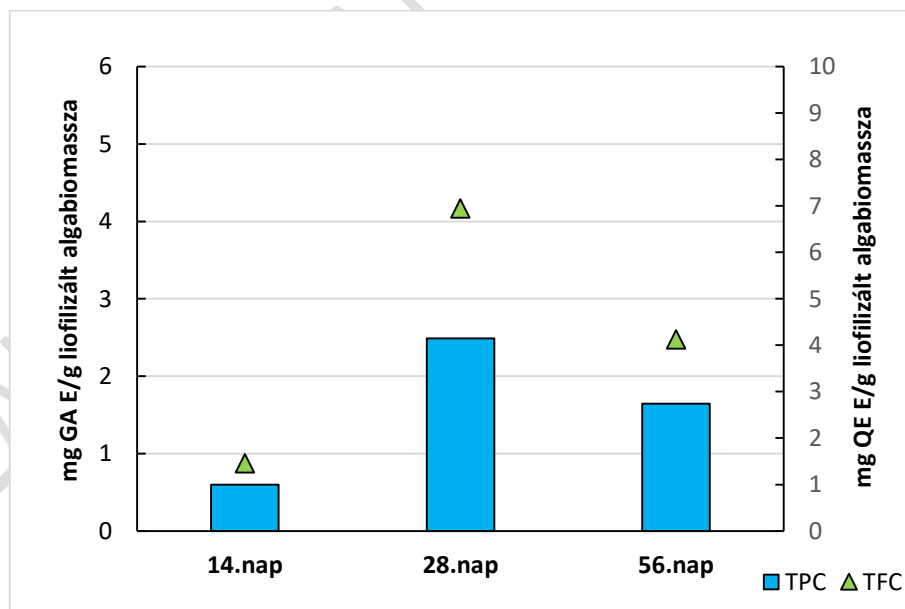
A továbbiakban a *Scenedesmus rubescens* mikroalga izolátum tenyésztését szerves és szervetlen természetű tápoldatokban indítottam el. A különböző korú tenyészeteken a bioaktív komponensek mennyiségének alakulását és stabilitását követtem nyomon.

### 5.2.1 Szervetlen természetű tápoldatok hatása

A BG11, BBM és M4N tápoldatokban tenyésztett és liofilizált algabiomassza összes polifenol és flavonoid tartalmát az alábbi 7., 8. és 9. ábra szemlélteti.



7. ábra: A sejteltérési és extrahálási technikákkal oldatba vitt összes polifenol (TPC) és flavonoid (TFC) tartalom BG11 tápoldatban tenyésztett és liofilizált algabiomassza esetén

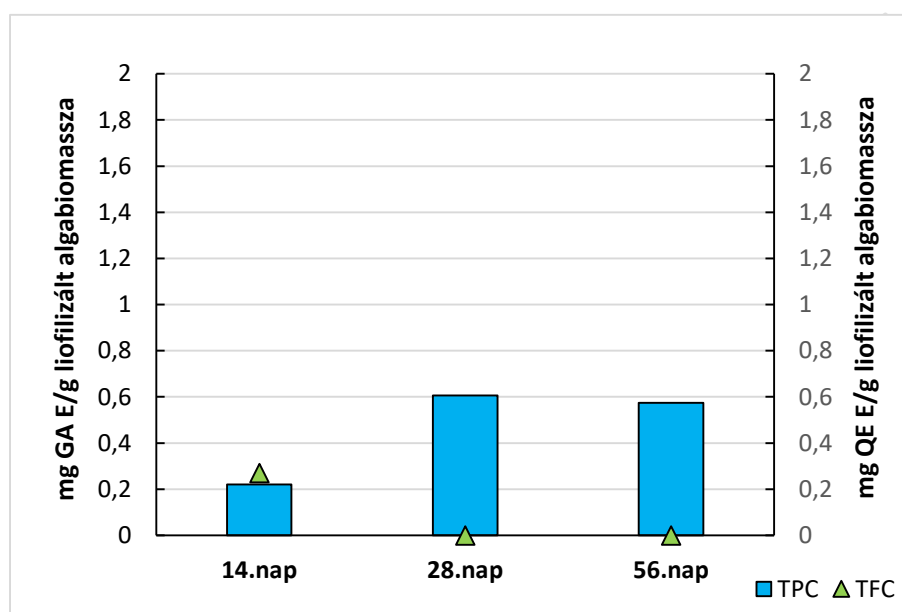


8. ábra: A sejteltérési és extrahálási technikákkal oldatba vitt összes polifenol (TPC) és flavonoid (TFC) tartalom BBM tápoldatban tenyésztett és liofilizált algabiomassza esetén

A különböző szervetlen természetű tápoldatokban tenyésztett és liofilizált algabiomassza polifenol és flavonoid tartalma lényeges eltéréseket mutatott. Az felülúszókban nagyobb



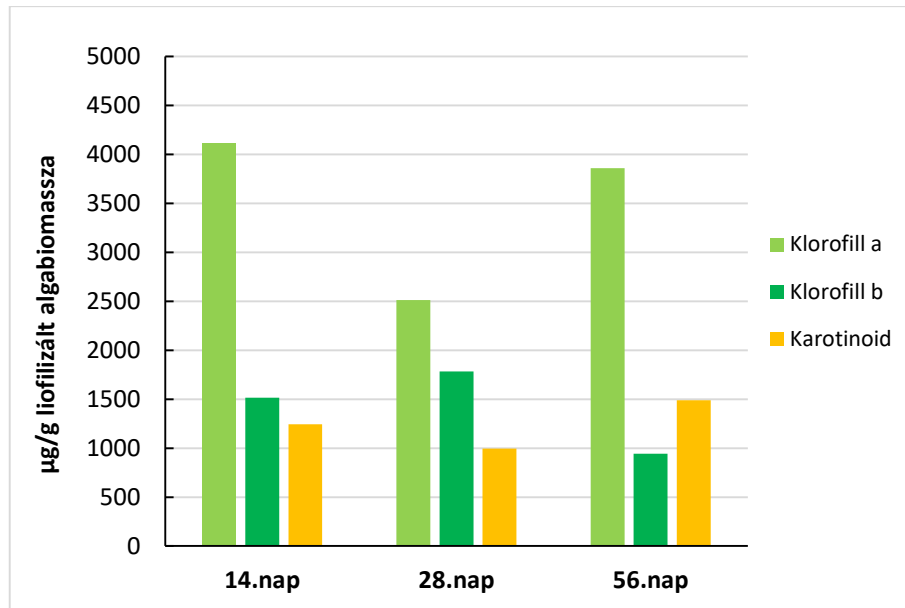
reaktivitás értékeket a BG11 tápoldat esetén mértem, melyet sorrendben a BBM, majd az M4N tápoldat követett. Nem csupán a tápoldat összetétele, hanem a tenyésztés időtartama is hatást fejtett ki a bioaktív komponensek mennyiségére. A BG11 tápoldat esetén a 28. napon liofilizált minta mutatott nagyobb polifenol tartalmat, amely 4,92 mg GA E/g volt. A BBM és az M4N esetén is ekkor mértem nagyobb polifenol tartalmat, azonban ezen esetekben alább maradtak az értékek. Mind a három tápoldat esetén az 56. napon liofilizált minták polifenol tartalma csökkenést mutatott.



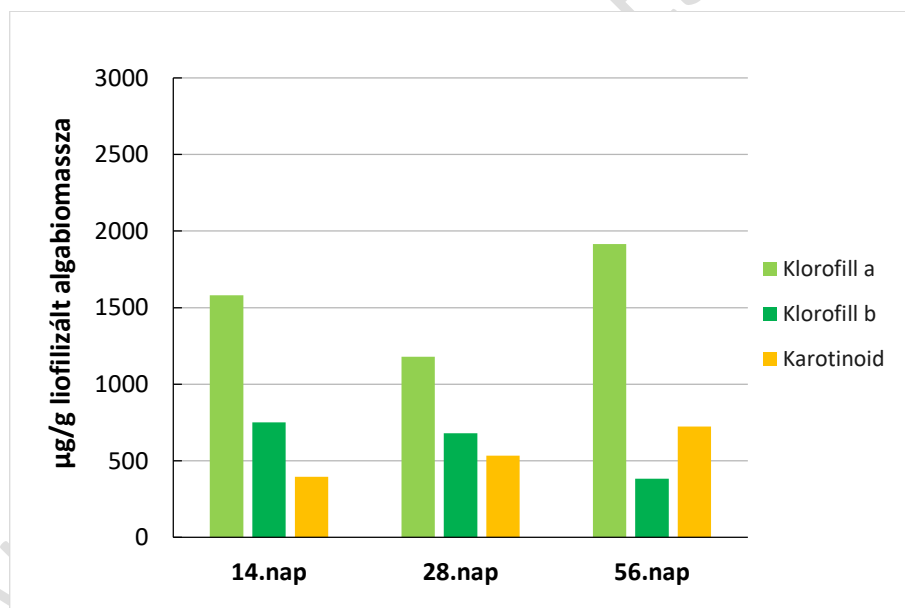
**9. ábra:** A sejtfeltárási és extrahálási technikákkal oldatba vitt összes polifenol (TPC) és flavonoid (TFC) tartalom M4N tápoldatban tenyésztett és liofilizált algabiomassza esetén

Ezzel szemben a flavonoid tartalom nagyobb ingadozást mutatott a tenyésztés időtartama alatt. A BG11 tápoldat esetén a 14. napon és 28. napon liofilizált minták flavonoid tartalma közel hasonlóan alakult, míg az 56. napon liofilizált mintáknál már növekedést tapasztaltam, ekkor a flavonoid tartalom 21 mg QE E/g értékre nőtt. A BBM tápoldat esetén a 28. napon liofilizált minta ért el 6,95 mg QE E/g értéket. Az M4N tápoldat esetén pedig a 14. napon volt kimutatható flavonoid tartalom, ami csupán 0,27 mg QE E/g volt.

A szervesen természetű tápoldatok összetétele a bioaktív színezőanyagok termelésére is hatást fejtett ki. Az alábbi 10., 11. és 12. ábra szemlélteti a klorofill *a*, klorofill *b* és a karotinoid tartalom alakulását. Az előzőkhez hasonlóan a pigmenttermelésnek is a BG11 tápoldat összetétele kedvezett. Az oldatba vitt klorofill *a* mennyisége elérte az 3,86-4,11 mg/g értéket, míg a klorofill *b* 1,52-1,78 mg/g, a karotinoid tartalom pedig 1,24-1,49 mg/g között alakult.

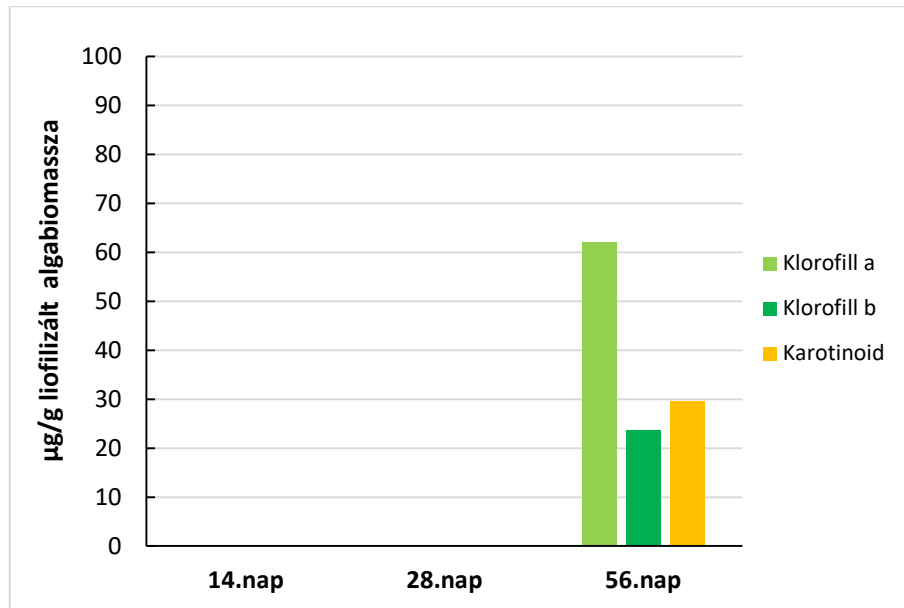


**10. ábra:** A sejteltérési és extrahálási technikákkal oldatba vitt pigmentek mennyisége BG11 tápoldatban tenyésztett és liofilizált alga biomassza esetén



**11. ábra:** A sejteltérési és extrahálási technikákkal oldatba vitt pigmentek mennyisége BBM tápoldatban tenyésztett és liofilizált alga biomassza esetén

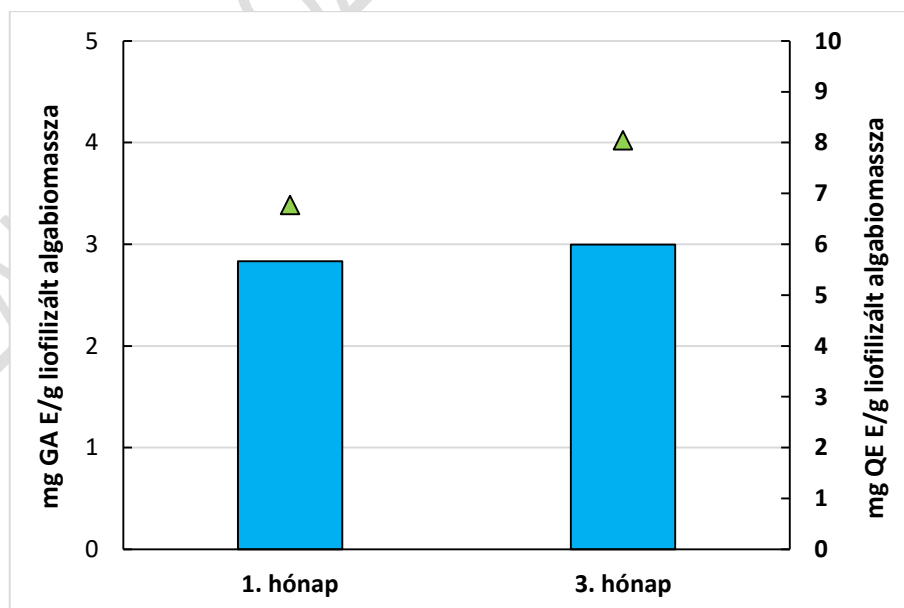
A BBM tápoldat esetén a felülúszóban mért klorofill *a* mennyisége 1,58 és 1,92 mg/g, a klorofill *b* mennyisége pedig 0,038 és 0,75 mg/g között alakult. Az M4N tápoldat esetén csupán az 56. napon liofilizált mintáknál tapasztaltam mérhető, azonban igen alacsony pigment tartalmat.



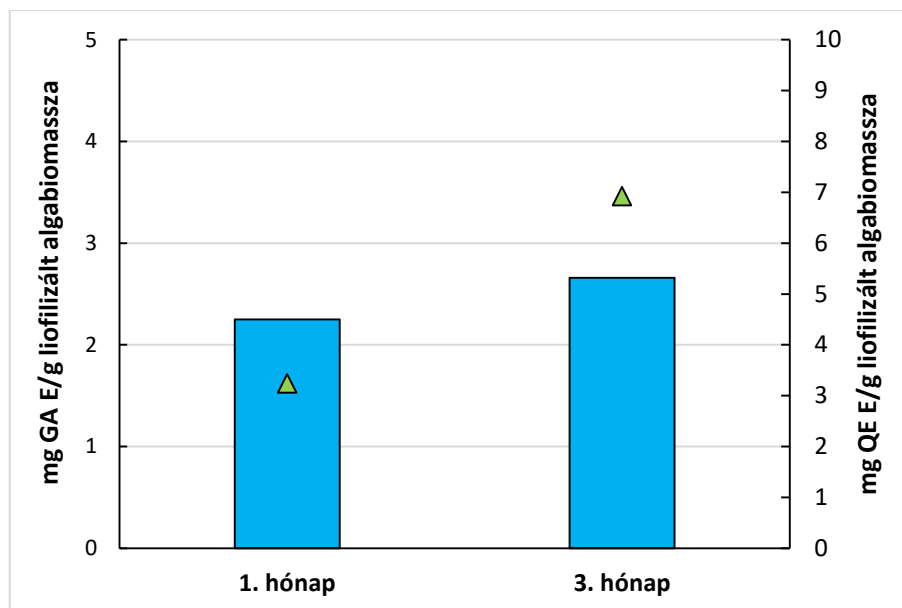
**12. ábra:** A sejteltárási és extrahálási technikákkal oldatba vitt pigmentek mennyisége M4N tápoldatban tenyésztett és liofilizált algabiomassza esetén

### 5.2.2 Tárolás hatása a bioaktív komponensek stabilitására

A következő kísérletsorozatban az 56 napon át BG11 tápoldatban tenyésztett és liofilizált algabiomassza bioaktív komponenseinek stabilitását követtem nyomon hűtőben (4°C, kontroll), valamint fényben és sötétben (20-25 °C) történő tárolás során. Az alábbi 13., 14. és 15. ábra az összes polifenol és flavonoid tartalom alakulását szemlélteti.

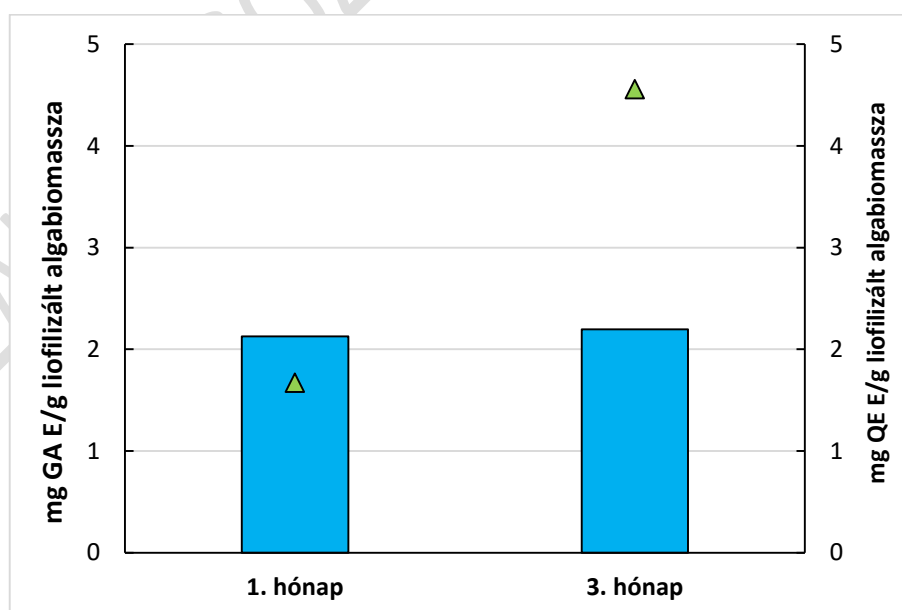


**13. ábra:** Hűtőszekrényben (4 °C) tárolt alga liofilizátum összes polifenol (TPC) és flavonoid (TFC) tartalmának alakulása



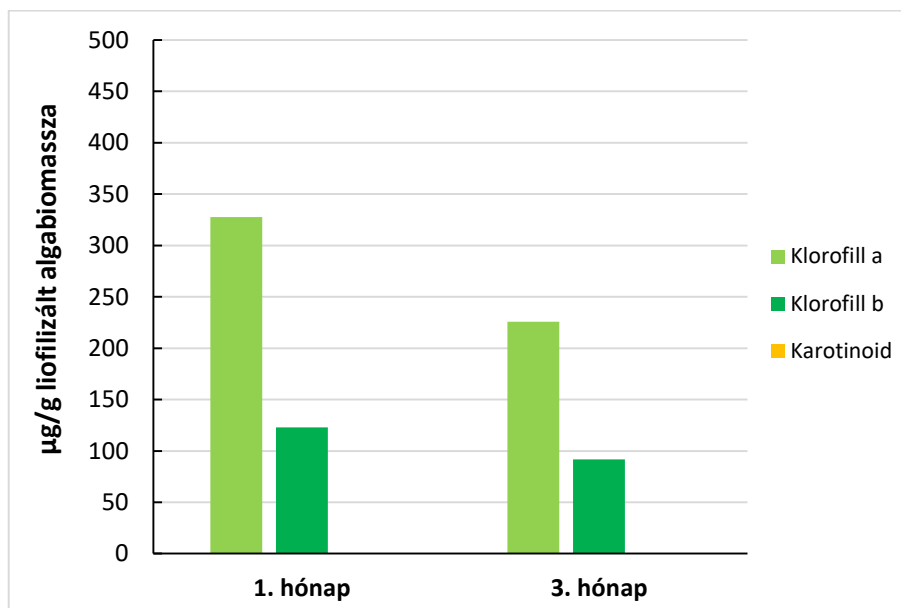
**14. ábra:** Sötétben, szobahőmérsékleten (20-25 °C) tárolt alga liofilizátum összes polifenol (TPC) és flavonoid (TFC) tartalmának alakulása

A tárolás során az alga liofilizátumok kisebb mértékben a hűtött körülmények esetén veszítettek reaktivitásukból. A tárolás előtti 3,62 mg GA E/g polifenol tartalom ekkor 0,6-0,8 mg GA E/g értéket csökkent. Ezt a sötétben, szobahőmérsékleten történő tárolás követte, ahol a polifenol tartalom már 1-1,3 mg GA E/g értéket csökkent. A fénynek kitett alga liofilizátumok esetén a polifenol veszteség ennél lényegesen nagyobb volt.

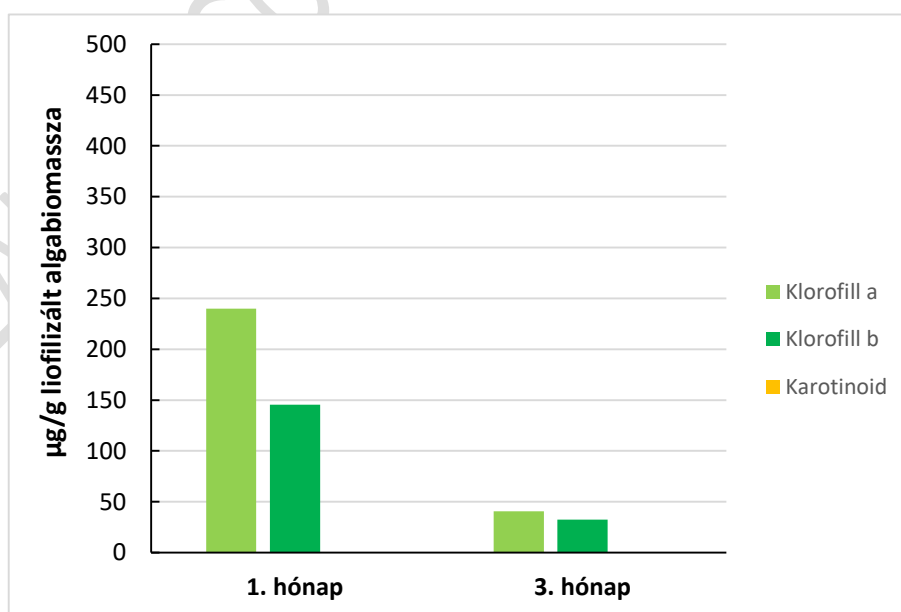


**15. ábra:** Fényben, szobahőmérsékleten (20-25 °C) tárolt alga liofilizátum összes polifenol (TPC) és flavonoid (TFC) tartalmának alakulása

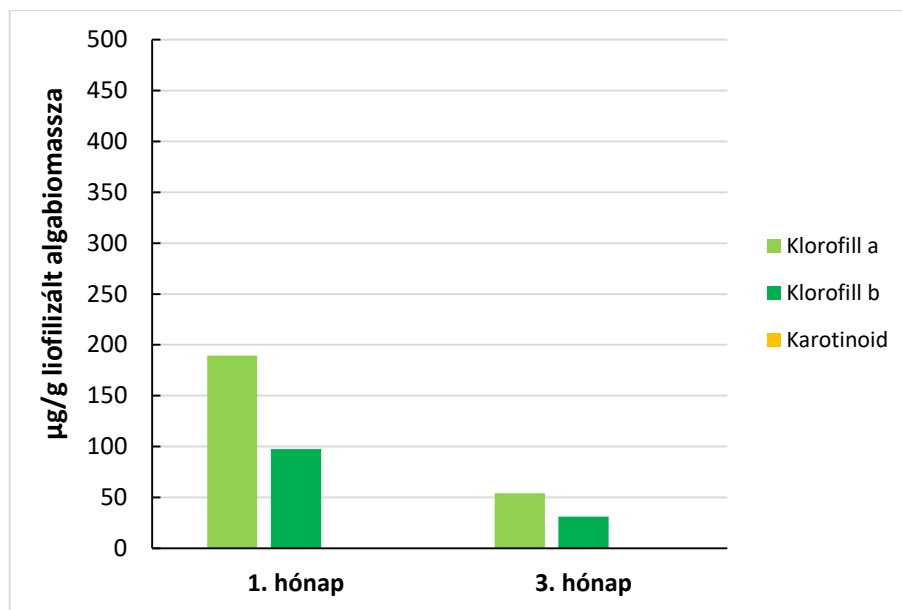
A tárolás során a liofilizált algabiomassza kémiai és fizikai változásokon ment keresztül, amelynek hatására a természetes színezékek mennyisége is nagymértékben csökkent. Az alábbi 16., 17. és 18. ábra a pigmenttartalom alakulását szemlélteti. A felülűszóban mért klorofill *a* mennyisége hűtött körülmények között 3,86 mg/g értékről 0,33 mg/g értékre, a klorofill *b* mennyisége 0,94 mg/g értékről 0,12 mg/g értékre csökkent 1 hónap alatt, illetve 0,23 mg/g és 0,09 mg/g értékre 3 hónap alatt. A tárolás során kimutatható karotinoid tartalmat nem mértem.



16. ábra: Hűtőszekrényben (4 °C) tárolt alga liofilizátum pigmenttartalmának alakulása



17. ábra: Sötétben, szobahőmérsékleten (20-25 °C) tárolt alga liofilizátum pigmenttartalmának alakulása



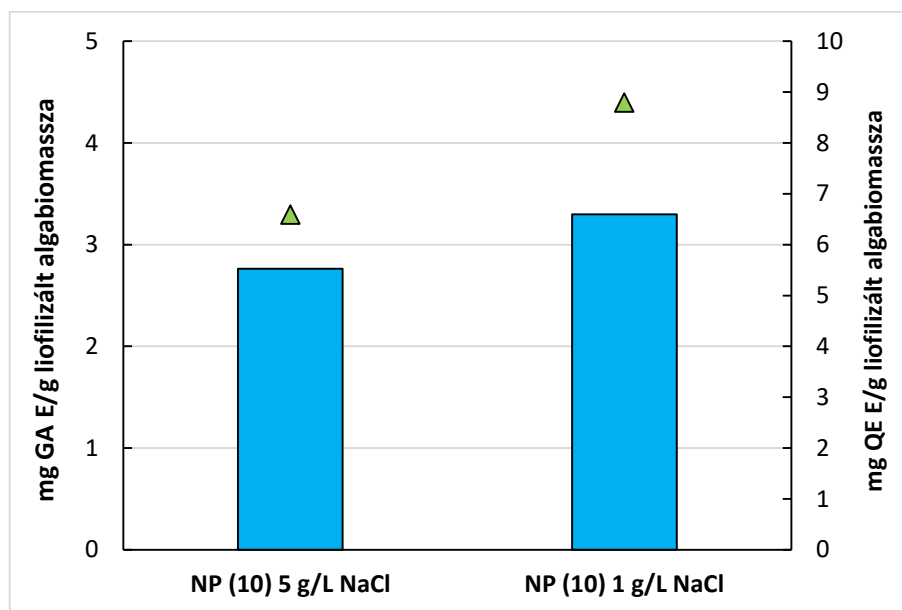
**18. ábra:** Fényben, szobahőmérsékleten (20-25 °C) tárolt alga liofilizátum pigmenttartalmának alakulása

A szobahőmérsékleten történő tárolás során a felülűszók klorofill *a* és klorofill *b* tartalma nagyobb mértékben csökkent. A klorofill *a* tartalom közelítette a 0,05 mg/g értéket, a klorofill *b* tartalom pedig 0,05 mg/g érték alá csökkent. A sötétben és fényben tárolt liofilizátumok esetén szintén nem mértem karotinoid tartalmat. Stirk és munkatársai (2021) fagyasztva szárított *Chlorella vulgaris* algabiomassza értékes komponenseinek mennyiségi alakulását követték nyomon különböző hőmérsékleti és fényviszonyok között. A liofilizátumot sötétben tárolták -70 °C-on, 10 °C-on és 25 °C-on, valamint fényben 25 °C-on. Mind a két környezeti tényező jelentősen befolyásolta az algabiomasszából kinyerhető bioaktív komponensek mennyiségét. Nagyobb hatással a hőmérséklet bírt, fagyasztott és hűtött körülmények között a bioaktív komponensek reaktivitása lassabban csökkent.

### 5.2.3 Gyümölcs- és zöldség alapú tápoldatok

A továbbiakban arra kerestem a választ, hogy a *Scenedesmus rubescens* mikroalga izolátum bioaktív komponenseinek termelése hogyan alakul, amennyiben a szerves természetű BG11 tápoldatot viszonylag olcsóbban és könnyebben hozzáférhető növényi-alapú tápoldatokra váltom ki. A kísérleteim során a mikroalga tenyésztése gyümölcs és zöldség maradványok préslevét tartalmazó tápoldatokban történt. Az előzetes tenyésztés során azt tapasztaltam, hogy a tápoldatok szerves természetükből adódóan hajlamosak a befertőződésre, ezért a 10 %-ban préslevét tartalmazó tápoldatokban természetes gátlószerként a NaCl hatását 1

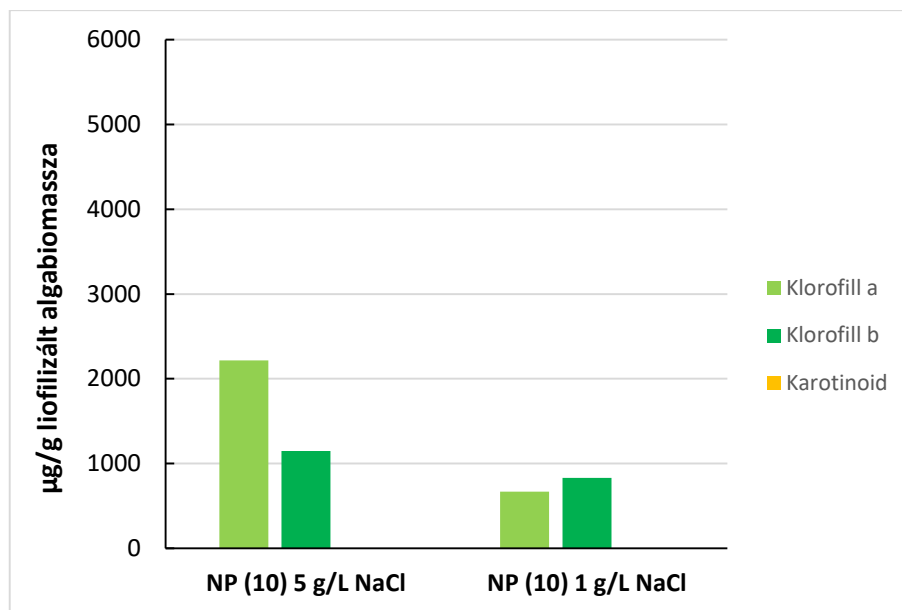
g/L, 5 g/L, 10 g/L és 15 g/L koncentrációban teszteltem. Az alábbi 19. ábra az összes polifenol és flavonoid tartalom alakulását szemlélteti.



**19. ábra:** NaCl hatása az alga liofilizátum összes polifenol (TPC) és flavonoid (TFC) tartalmának alakulására

A NaCl koncentráció a mikroalga tenyészhetőségére és a bioaktív komponensek termelésére is hatást fejtett ki. A mikroalga 1 g/L és 5 g/L sókoncentráció jelenlétében mutatott növekedést, míg 10 g/L és 15 g/L sókoncentráció a növekedést nagymértékben lassította, lényegi sejtszaporodást 28 nap alatt nem tapasztaltam. Láthatóan, az 1 g/L sókoncentráció kedvezőbben befolyásolta a polifenol és flavonoid tartalom alakulását. A felülűszóban mért polifenolok mennyisége 3,29 mg GA E/g, ami 67 %-a a BG11 tápoldatban 28 napon át tenyésztett és liofilizált mintában mért polifenol tartalomnak. A flavonoid tartalom azonban közelítette a szervesetlen tápoldat esetén elért értéket, ami 8,79 QE E/g algabiomassza volt.

Az eddigi tapasztalatok alapján a pigmenttartalom többségében azon mintáknál mutatott nagyobb értékeket, ahol a polifenolok és a flavonoidok mennyisége kisebbnek bizonyult (20. ábra). Ezesetben a növelt sókoncentráció (5 g/L) jelenlétében a klorofill *a* és klorofill *b* mennyisége a BG11 tápoldatban tenyésztett és 28. napon liofilizált minták mért értékeihez hasonlóan alakult. A klorofill *a* mennyisége 2,22 mg/g, a klorofill *b* mennyisége 1,15 mg/g volt. A mintákban kimutatható karotinoid tartalmat nem mértem.



**20. ábra:** NaCl hatása az alga liofilizátum pigmenttartalmának alakulására

A kísérlet során a DPPH szabadgyök gátlásának hatékonyságát is nyomon követtem. Az antioxidáns mérési módszer kedvezőbbnek a növényi-alapú tápoldatokban indított algatenyésztés mutatta, ahol a gátlás százalékos értéke 13,46 % és 13,88 % volt. A BG11 tápoldat esetén a gátlás százalékos értéke 2,81 % és 6,55 % között alakult (6. táblázat).

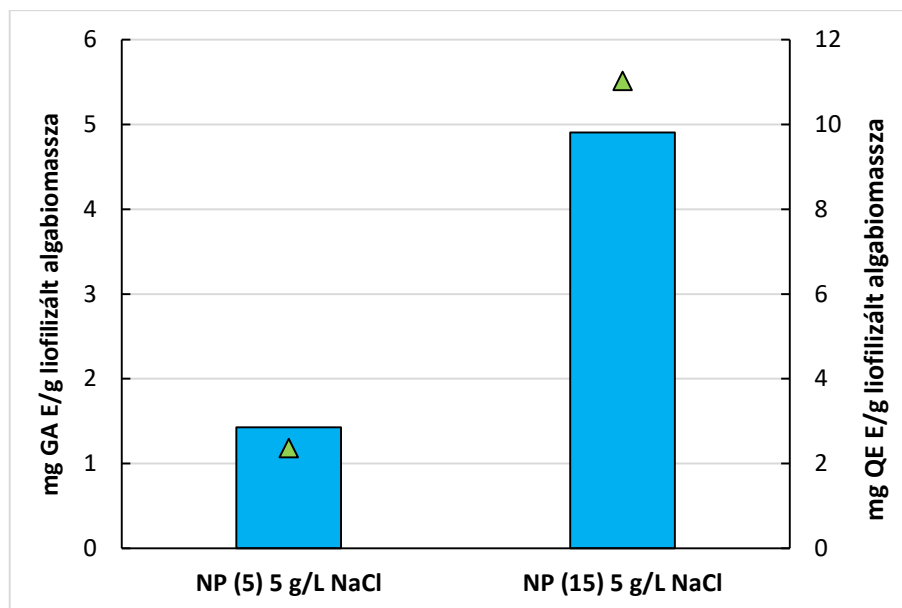
**6. táblázat:** Antioxidáns kapacitás a BG11 tápoldatban és növényi présleiben tenyésztett és liofilizált algabiomassza esetén

Minta	Koncentráció (m/v)%	DPPH szabadgyök gátlási %
<b>BG11 (14. nap)</b>	-	6,55
<b>BG11 (28. nap)</b>	-	2,81
<b>BG11 (56. nap)</b>	-	5,11
<b>Növényi présle</b>	10 (1 g/L NaCl)	<b>13,46</b>
	10 (5 g/L NaCl)	<b>13,88</b>

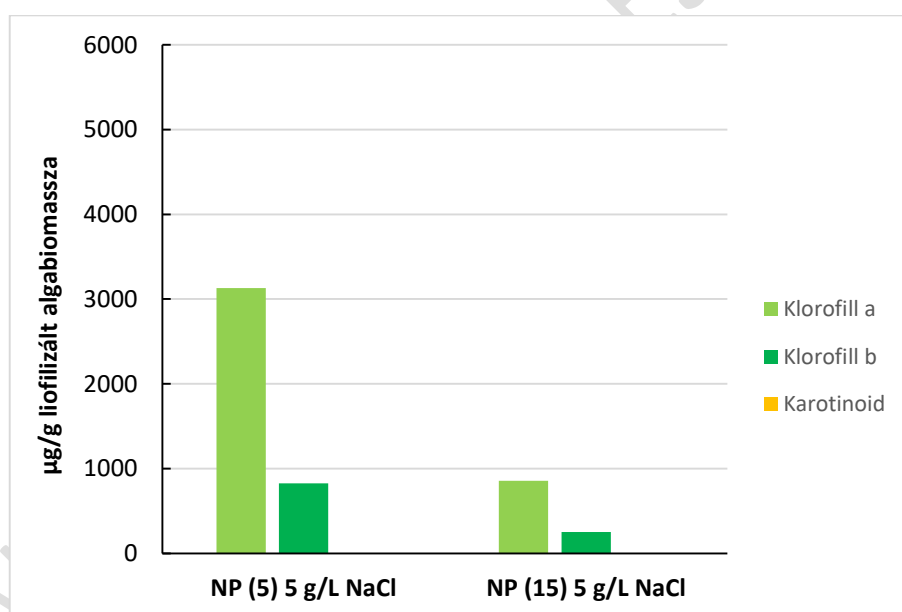
### 5.2.3.1 Szubsztrátum koncentráció hatása

A gyümölcs és zöldség présle koncentrációjának hatását az alábbi 21. és 22. ábra szemlélteti. A korábban 10 %-ban préslet (és 5 g/L NaCl-t) tartalmazó tápoldatokhoz képest a bioaktív komponensek mennyiségét fokozta a présle koncentráció növelése.





**21. ábra:** NaCl hatása az alga liofilizátum összes polifenol (TPC) és flavonoid (TFC) tartalmának alakulására



**22. ábra:** NaCl hatása az alga liofilizátum pigmenttartalmának alakulására

A 15 %-os préselés tartalom esetén a polifenol tartalom 4,9 mg GA E/g értékre, a flavonoid tartalom pedig 11,03 mg QE E/g értékre nőtt. A szervesanyag tartalom csökkentése (5 %-os préselés) esetén a liofilizátum bioaktív komponenseinek mennyisége is csökkent, a polifenol tartalom csupán 1,43 GA E/g, a flavonoid tartalom pedig csupán 2,36 QE E/g volt.

A természetes színezőanyagok mennyisége szintén abban az esetben mutatott nagyobb értékeket, ahol a polifenolok és flavonoidok mennyisége alább maradt (22. ábra). Ezen esetben az

5 %-os szervesanyag tartalom esetén a klorofill *a* mennyisége már meghaladta a 3,13 mg/g értéket, a klorofill *b* mennyisége pedig 0,82 mg/g értéket ért el.

A DPPH szabadgyök gátlás a tápoldat szervesanyag tartalmának változtatásának hatására mind az 5 %-os koncentráció, mind a 15 %-os koncentráció esetén csökkent. A gátlás százalékos értéke 5,81 és 9,57 volt.

**7. táblázat:** Antioxidáns kapacitás növényi présleiben tenyésztett és liofilizált algabiomassza esetén

Minta	Koncentráció (m/v)%	DPPH szabadgyök gátlási %
Növényi présle	10 (5g/L NaCl)	5,81
	15 (5 g/L NaCl)	9,57

De Medeiros és munkatársai (2020) kísérleteik során a *Scenedesmus quadricauda* mikroalgafaj tenyészthetőségét hasonlították össze szerves és a szerves természetű tápközegben. A gyümölcsökből és zöldségekből készített szerves tápoldatok esetükben is megfelelő közegként szolgáltak a mikroalga szaporításához, sőt az antioxidáns aktivitás is javult a szintetikus táptalajok esetén mért értékekhez képest. A kísérleteim során elért eredmények is igazolják, hogy megfelelő szervesanyag tartalom esetén ígéretes alapanyagforrásként hasznosíthatók a növényi eredetű maradványok. A növényi tápoldat tápanyagban igen gazdag, ami kedvezően hatott az édesvízi mikroalga bioaktív természetű vegyületeinek termelésére.

## 6 ÖSSZEFOGLALÁS

A szakdolgozati munkám egy édesvízi zöldalga izolátum bioaktív komponenseinek (polifenol, flavonoid, pigment tartalom) és antioxidáns kapacitásának megismerésére irányult szintetikus és szerves természetű, növényi alapú tápoldatokon történő tenyésztés során. A kutatási munka a növényi élelmiszerhulladékok értékteremtő hasznosítására, ezáltal újszerű hulladékkezelésre is lehetőséget kínálhat.

A kutatómunkám során az alábbi eredményeket értem el:

1. A liofilizált algabiomassza intracelluláris bioaktív komponenseinek kinyerése hatásosabbnak bizonyult fizikai behatással, mikrohullámal együttesen alkalmazott szerves oldószeres (etanol és víz aránya 3:1) extrakció során. A kombinált előkezelést követően a liofilizált algabiomasszából oldatba vitt összes polifenol mennyiség 3,62 mg GA E/g, az összes flavonoid mennyiség 20,99 mg QE E/g volt. Az extraktum klorofill *a* tartalma 3,86 mg/g, a klorofill *b* tartalma 0,94 mg/g, a karotinoid tartalma pedig 1,49 mg/g volt.
2. A szerves természetű tápoldatok eltérő mértékben fejtettek ki hatást a mikroalga bioaktív komponenseinek termelésére. A bioaktív hatású komponensek mennyisége nagyobb értékeket a BG11 tápoldatban tenyésztett és liofilizált algabiomassza esetén mutatott. A tenyésztés időtartama alatt a bioaktív komponensek mennyiségének ingadozása a környezet hőmérsékletének változása (18-28°C) okozhatta.
3. A liofilizált algabiomassza bioaktív komponenseinek stabilitására hatást fejtett ki a tárolás körülménye és a tárolás időtartama. A bioaktív komponensek jobban megtartották reaktivitásukat hűtött körülmények (4°C) között, míg a szobahőmérsékleten, sötétben és fényben tárolt liofilizátumok esetén lényegesen csökkent a bioaktív komponensek mennyisége.
4. A növényi alapú tápoldatoknál a befertőződés kockázatának csökkentésére természetes gátlószerként 1-5 g/L koncentrációban a NaCl kedvezően hatott. A sókoncentráció további növelése a mikroalga szaporodását csökkentette.

5. A növényi alapú tápoldatoknál a gyümölcs- és zöldség préselé koncentráció a mikroalga bioaktív komponenseinek termelését befolyásolta. A préselé koncentrációjának növelése a bioaktív komponensek mennyiségét fokozta, kedvezőbb kioldódási értékeket a 15 %-os préselé koncentráció eredményezett. A liofilizált algabiomassából oldatba vitt összes polifenol mennyiség 4,91 mg GA E/g, az összes flavonoid mennyiség 11,03 mg QE E/g volt. Az extraktum klorofill *a* tartalma ekkor 0,85 mg/g, a klorofill *b* tartalma pedig 0,21 mg/g volt. Karotinoid tartalom nem volt mérhető. Az antioxidáns kapacitások a növényi tápoldatokban indított tenyésztések során mutattak nagyobb értékeket.

Az elért eredmények alapján a mikroalgák szerves, növényi-alapú tápközegben történő tenyésztése ígéretes lehetőséget nyújt a gyümölcs és zöldség maradványok, növényi eredetű élelmiszerhulladékok értékteremtő hasznosítására.

## 7 IRODALOMJEGYZÉK

Ammar, E. M., Arora, N., & Philippidis, G. P. (2020). The Prospects of agricultural and food residue hydrolysates for sustainable production of algal products. *Energies*, 13(23), 6427.

Andersen, R. A., Lewin, R. A. 2021. "Algae" Encyclopedia Britannica

<https://www.britannica.com/science/algae>

Andrade, L. M., Andrade, C. J., Dias, M., Nascimento, C., & Mendes, M. A. (2018). Chlorella and spirulina microalgae as sources of functional foods. *Nutraceuticals, and Food Supplements*, 6(1), 45-58.

Begum, H., Yusoff, F. M., Banerjee, S., Khatoon, H., & Shariff, M. (2016). Availability and utilization of pigments from microalgae. *Critical reviews in food science and nutrition*, 56(13), 2209-2222.

Bocsi, R., Rippelné Pethő, D., Horváth, G., Hanák, L., & Hodai, Z. (2016). Algatermesztő rendszer energetikai hatásfokát befolyásoló tényezők vizsgálata.

Bulut, O., Akin, D., Sönmez, Ç., Öktem, A., Yücel, M., & Öktem, H. A. (2019). Phenolic compounds, carotenoids, and antioxidant capacities of a thermo-tolerant *Scenedesmus* sp.(Chlorophyta) extracted with different solvents. *Journal of Applied Phycology*, 31(3), 1675-1683.

Bulut, O., Akin, D., Sönmez, Ç., Öktem, A., Yücel, M., & Öktem, H. A. (2019). Phenolic compounds, carotenoids, and antioxidant capacities of a thermo-tolerant *Scenedesmus* sp.(Chlorophyta) extracted with different solvents. *Journal of Applied Phycology*, 31(3), 1675-1683.

Camacho-Rodríguez, J., Macías-Sánchez, M. D., Cerón-García, M. C., Alarcón, F. J., & Molina-Grima, E. (2018). Microalgae as a potential ingredient for partial fish meal replacement in aquafeeds: nutrient stability under different storage conditions. *Journal of Applied Phycology*, 30(2), 1049-1059.

Chen, G., Zhao, L., & Qi, Y. (2015). Enhancing the productivity of microalgae cultivated in wastewater toward biofuel production: a critical review. *Applied Energy*, 137, 282-291.

- Chiu, S. Y., Kao, C. Y., Tsai, M. T., Ong, S. C., Chen, C. H., & Lin, C. S. (2009). Lipid accumulation and CO<sub>2</sub> utilization of *Nannochloropsis oculata* in response to CO<sub>2</sub> aeration. *Bioresource technology*, *100*(2), 833-838.
- Coulombier, N., Jauffrais, T., & Lebouvier, N. (2021). Antioxidant compounds from microalgae: A review. *Marine drugs*, *19*(10), 549.
- Csizmadia M. (2022) Növényi-alapú zöldségek tápoldatok előállítására és a tenyésztetőség vizsgálata, Szakdolgozat, MATE.
- Dai, J., & Mumper, R. J. (2010). Plant phenolics: extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. *Molecules*, *15*(10), 7313-7352.
- De Carvalho, L. R., Fujii, M. T., Roque, N. F., & Lago, J. H. G. (2006). Aldingenin derivatives from the red alga *Laurencia aldingensis*. *Phytochemistry*, *67*(13), 1331-1335.
- de Medeiros, V. P. B., Pimentel, T. C., Varandas, R. C. R., Dos Santos, S. A., de Souza Pedrosa, G. T., da Costa Sassi, C. F., ... & Magnani, M. (2020). Exploiting the use of agro-industrial residues from fruit and vegetables as alternative microalgae culture medium. *Food Research International*, *137*, 109722.
- Del Mondo, A., Smerilli, A., Ambrosino, L., Albini, A., Noonan, D. M., Sansone, C., & Brunet, C. (2021). Insights into phenolic compounds from microalgae: Structural variety and complex beneficial activities from health to nutraceuticals. *Critical Reviews in Biotechnology*, *41*(2), 155-171.
- D'Imporzano, G., Veronesi, D., Salati, S., & Adani, F. (2018). Carbon and nutrient recovery in the cultivation of *Chlorella vulgaris*: A life cycle assessment approach to comparing environmental performance. *Journal of Cleaner Production*, *194*, 685-694.
- Du, H., Ahmed, F., Lin, B., Li, Z., Huang, Y., Sun, G., ... & Gao, Z. (2017). The effects of plant growth regulators on cell growth, protein, carotenoid, PUFAs and lipid production of *Chlorella pyrenoidosa* ZF strain. *Energies*, *10*(11), 1696.
- Freile-Pelegrín, Y., & Robledo, D. (2013). Bioactive phenolic compounds from algae. *Bioactive compounds from marine foods: plant and animal sources*, 113-129.
- Goiris, K., Muylaert, K., & De Cooman, L. (2015). Microalgae as a novel source of antioxidants for nutritional applications. In *Handbook of Marine Microalgae* (pp. 269-280). Academic Press.

- Goiris, K., Muylaert, K., Fraeye, I., Foubert, I., De Brabanter, J., & De Cooman, L. (2012). Antioxidant potential of microalgae in relation to their phenolic and carotenoid content. *Journal of applied phycology*, 24(6), 1477-1486.
- Gong, M., & Bassi, A. (2016). Carotenoids from microalgae: A review of recent developments. *Biotechnology advances*, 34(8), 1396-1412.
- Gregory, J. A., & Mayfield, S. P. (2014). Developing inexpensive malaria vaccines from plants and algae. *Applied microbiology and biotechnology*, 98(5), 1983-1990.
- Grossmann, L., Hinrichs, J., & Weiss, J. (2019). Solubility and aggregation behavior of protein fractions from the heterotrophically cultivated microalga *Chlorella protothecoides*. *Food Research International*, 116, 283-290.
- Haoujar, I., Cacciola, F., Abrini, J., Mangraviti, D., Giuffrida, D., Oulad El Majdoub, Y., ... & Skali Senhaji, N. (2019). The contribution of carotenoids, phenolic compounds, and flavonoids to the antioxidative properties of marine microalgae isolated from Mediterranean Morocco. *Molecules*, 24(22), 4037.
- Haske-Cornelius, O., Vu, T., Schmiedhofer, C., Vielnascher, R., Dielacher, M., Sachs, V., ... & Guebitz, G. M. (2020). Cultivation of heterotrophic algae on enzymatically hydrolyzed municipal food waste. *Algal Research*, 50, 101993.
- Korbee, N., Teresa Mata, M., & Figueroa, F. L. (2010). Photoprotection mechanisms against ultraviolet radiation in *Heterocapsa* sp. (Dinophyceae) are influenced by nitrogen availability: Mycosporine-like amino acids vs. xanthophyll cycle. *Limnology and oceanography*, 55(2), 899-908.
- Koyande, A. K., Chew, K. W., Rambabu, K., Tao, Y., Chu, D. T., & Show, P. L. (2019). Microalgae: A potential alternative to health supplementation for humans. *Food Science and Human Wellness*, 8(1), 16-24.
- Limbu, B., & Sibi, G. (2017). Fruit wastes hydrolysates as feedstock: pre-treatment strategies for cost-saving and sustainable microalgae cultivation. *Int. J. Res. Environ. Sci*, 3.
- Michalak, I., & Chojnacka, K. (2015). Algae as production systems of bioactive compounds. *Engineering in Life Sciences*, 15(2), 160-176.

Mutanda, T., Ramesh, D., Karthikeyan, S., Kumari, S., Anandraj, A., & Bux, F. (2011). Bioprospecting for hyper-lipid producing microalgal strains for sustainable biofuel production. *Bioresource technology*, 102(1), 57-70.

Nayaka, S., Toppo, K., & Verma, S. (2017). Adaptation in algae to environmental stress and ecological conditions. In *Plant Adaptation Strategies in Changing Environment* (pp. 103-115). Springer, Singapore.

Pasquet, V., Chérouvrier, J. R., Farhat, F., Thiéry, V., Piot, J. M., Bérard, J. B., ... & Picot, L. (2011). Study on the microalgal pigments extraction process: Performance of microwave assisted extraction. *Process Biochemistry*, 46(1), 59-67.

Poljsak, B., Glavan, U., & Dahmane, R. (2011). Skin cancer, free radicals and antioxidants. *International Journal of Cancer Research and Prevention*, 4(3), 193.

Pratap, A. Kumar, M., Sibi, G. (2017). Fruit and Vegetable Waste Hydrolysates as Growth Medium for Higher Biomass and Lipid Production in *Chlorella vulgaris* *Journal of Environment and Waste Management*, 4(2), 204-210.

Shanmugam, M., Ganesan, A. R., & Rajauria, G. (2021). Extraction Technologies to Recover Dietary Polyphenols from Macro-and Microalgae. *Recent Advances in Micro and Macroalgal Processing: Food and Health Perspectives*, 163-187.

Silva, M. E. T. D., Martins, M. A., Leite, M. D. O., Milião, G. L., & Coimbra, J. S. D. R. (2021). Microalga *Scenedesmus obliquus*: extraction of bioactive compounds and antioxidant activity. *Revista Ciência Agronômica*, 52.

Silva, S. C., Ferreira, I. C., Dias, M. M., & Barreiro, M. F. (2020). Microalgae-derived pigments: A 10-year bibliometric review and industry and market trend analysis. *Molecules*, 25(15), 3406.

Stirk, W. A., Bálint, P., Vambe, M., Kulkarni, M. G., van Staden, J., & Ördög, V. (2021). Effect of storage on plant biostimulant and bioactive properties of freeze-dried *Chlorella vulgaris* biomass. *Journal of applied phycology*, 33(6), 3797-3806.

Stirk, W. A., Bálint, P., Vambe, M., Kulkarni, M. G., van Staden, J., & Ördög, V. (2021). Effect of storage on plant biostimulant and bioactive properties of freeze-dried *Chlorella vulgaris* biomass. *Journal of applied phycology*, 33(6), 3797-3806.



Vanthoor-Koopmans, M., Wijffels, R. H., Barbosa, M. J., & Eppink, M. H. (2013). Biorefinery of microalgae for food and fuel. *Bioresource technology*, 135, 142-149.

Xin, Y., Lu, Y., Lee, Y. Y., Wei, L., Jia, J., Wang, Q., ... & Xu, J. (2017). Producing designer oils in industrial microalgae by rational modulation of co-evolving type-2 diacylglycerol acyltransferases. *Molecular plant*, 10(12), 1523-1539.

Yan, N., Fan, C., Chen, Y., & Hu, Z. (2016). The potential for microalgae as bioreactors to produce pharmaceuticals. *International journal of molecular sciences*, 17(6), 962.

Zhang, C., Show, P. L., & Ho, S. H. (2019). Progress and perspective on algal plastics—a critical review. *Bioresource technology*, 289, 121700.

### **Internetes hivatkozások**

Megtekintés dátuma: 2022 szeptember – november

#### **Internet 1**

<https://www.e-education.psu.edu/egee439/node/693> 2022.11.09.

## KONZULTÁCIÓS NYILATKOZAT

**Kotz Eszter Petra** (hallgató Neptun azonosítója: OB7TDW) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A szakdolgozatot a záróvizsgán történő védeésre javaslom.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz:            igen    nem

Kelt: 2022. 11. 09.

*Dr. Kohári-Farkas Csilla*

Dr. Kohári-Farkas Csilla

Belső konzulens

## NYILATKOZAT

### szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Kotz Eszter Petra  
A hallgató Neptun kódja: OB7TDW  
A dolgozat címe: Édesvízi zöldalga bioaktív komponenseinek vizsgálata  
A megjelenés éve: 2022  
A konzulens tanszék neve: Biomérnök és Erjedéssipari Technológia Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott szakdolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, s az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a Záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe.

Kelt: Budapest, 2022. november 9.



Hallgató aláírása