

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 helyezük 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-tápanyaghiány, a túlsúly és a kóros elhízás, továbbá a NCDs (Non Communicable Diseases – nem fertőző betegségek), beleértve a szív- és érrendszeri megbetegedések, az agyvérzés, 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 %
Csillagfürt	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**).

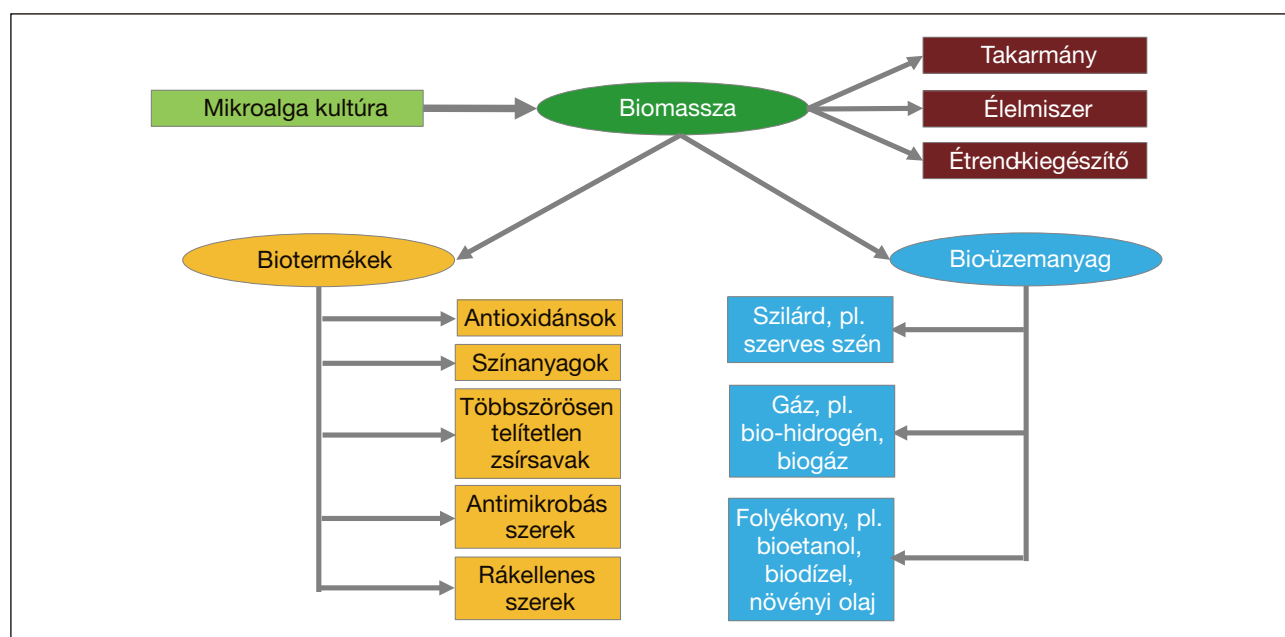
2. táblázat. Egyes alternatív fehérjeforrások fehérjetartalma [1]

Fehérjeforrások		Fehérjetartalom
SCP	Mikroalgák Élesztőgombák Fonals gombák Baktériumok	40-60%
		45-65%
		35-50%
		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 gyulladásoos 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 sűrítőszerként. 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 természetes 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 vörösmozzatokban (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].

Mindamellet, 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 biológiailag 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>