

Derleme

<https://doi.org/10.33484/sinopfbid.756316>

Fonksiyonel Gıda İçin Sağlıklı Takviye: Mikroalgler

*Sibel UZUNER**, *Asiye HAZNEDAR*

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bolu, Türkiye

Öz

Mikroalgler çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA), karotenoidler, fikobiliproteinler, polisakkaritler ve fitotoksin gibi çeşitli yüksek değerli ürünleri içermesi sebebiyle çekici ve değerli bir kaynak olmaktadır. Mikroalgler gıdaların besin değerini arttırmak için fonksiyonel bileşenler olarak kullanılabilir. Böylece, refah ve yaşam kalitesini iyileştirerek insan sağlığını olumlu yönde etkileyebilirler. Bu potansiyelleri nedeniyle, mikroalgler yeni ve fonksiyonel gıda üretmek için alternatif kaynaklar haline gelmiştir. Bu derlemede, mevcut mikroalg tüketimine bağlı sağlık yararları, biyoaktif bileşikler ve fonksiyonel bileşenler açısından mikroalglerin potansiyeli ortaya konmuş ve biyoerişilebilirlik bakımından önemine yer verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Mikroalgler, biyoaktif bileşikler, karotenoid, biyoerişilebilirlik

Healthy supplement for functional food: Microalgae

Abstract

Microalgae are an attractive and valuable resource because they consist of various high-value products such as polyunsaturated fatty acids (PUFA), carotenoids, phycobiliproteins, polysaccharides and phytotoxins. Microalgae can be used as functional ingredients to enhance the nutritional value of foods. Thus, it positively may affect human health by improving the well-being and quality of life. Due to its potentials, microalgae have become alternative sources for new and functional food products. In this review, the potential of microalgae consumption in terms of health benefits, bioactive compounds, functional ingredients are shown up and bioaccessibility of microalgae bioactive compounds is discussed.

Keywords: Microalgae, bioactive compounds, carotenoid, bioaccessibility

Giriş

Çoğu gelişmiş ülkede insanlar; modern yaşam tarzı nedeniyle obezite, kalp ve şeker hastalıkları gibi sağlık sorunlarına yol açan yüksek kalorili yiyecekler tüketmektedirler. Sağlıklı ve dengeli bir beslenme için vitamin, mineral ve çoklu

doymamış yağ asitleri (PUFA) vb. gerekmektedir.

Genel olarak fonksiyonel gıdalar; “sağlığın iyileştirilmesi ya da bazı hastalıklara maruz kalma riskinde azalmalar yaratması gibi bir ya da daha fazla fizyolojik fonksiyonları meydana getirerek

* Sorumlu Yazar: ORCID ID: orcid.org/0000-0003-1050-8206
e-mail: sibeluzuner@ibu.edu.tr

Received: 22.06.2020
Accepted: 19.10.2020

yararlı etki sağlayan gıdalar” olarak tanımlanmaktadır. Fonksiyonel gıdalar, insan sağlığı için olumlu etki sağlayabilen ingrediyeentler ile zenginleştirilmiş ticari gıdalardan elde edilmektedir. Bu ingrediyeentler bitkiler, alg ya da mikroalgler gibi doğal kaynaklardan ekstrakte edilmeleri nedeni ile tüketiciler tarafından tercih edilmektedir [1]. Geleneksel gıda kaynaklarıyla karşılaştırıldığında, alglerin uygun koşullar altında bir günde ağırlıklarının 2-3 katına çıkarabilmeleri, üretimlerinin kolay ve ekonomik olması, yan etkilerinin bulunmaması gibi nedenlerle besin ihtiyacını karşılamada önemli bir kaynak olacağı öngörülmektedir [2].

Algler, dünyadaki birincil gıda zinciri üretiminin yarısını oluşturmaktadır [3]. Canlı organizmaların çok hücreli veya tek hücreli bir formu olan algler, boyutuna göre makro veya mikro algler olarak ayrılmaktadır. Mikroalgler dünyadaki en eski yaşam biçimlerinden biridir [4]. 50.000'den fazla farklı mikroalgal türü, okyanuslarda ve tatlı sularda (göller, havuzlar ve nehirler) bulunmaktadır [5]. Mikroalgler insanlar tarafından binlerce yıldır gıda olarak tüketilmektedir [6]. Mikroalglerin çeşitli türlerinin karbonhidratlar, proteinler, lipitler ve besinsel değeri olan bileşenler bakımından

zengin olduğu belirlenmiştir [7]. Siyanobakterilerin hücre duvarındaki polisakkarit eksikliği biyokütlenin daha kolay sindirilebilir bir malzeme olmasını sağlamıştır. Böylece insan tüketimi için daha uygun bir hale gelmiştir [8].

Mikroalgal biyokütlenin çoğu, çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA), karotenoidler, fikobiliproteinler, polisakkaritler ve fitotoksin gibi çeşitli yüksek değerli ürünler üretmek için çekici bir kaynak olmuştur. Mikroalgden elde edilen ürünler insan beslenmesinde ve su ürünleri yetiştiriciliği amacıyla yüksek protein takviyesi olarak yaygın kullanılmaktadır [9]. Ülkemizde su ürünleri tüketimi sadece balıklarla sınırlıdır. Öte yandan, mikroalglerin düzenli tüketilmesi ile insan beslenmesi açısından önemli yüksek besin öğeleri alınmış olacaktır [2].

Mikroalgler sağlıklı bir diyet için yeterince araştırılmamış doğal bir kaynaktır. Bu nedenle yüksek değerli ürünler elde edebilmek için yeni mikroalg suşlarının tanımlanması ve özelliklerinin belirlenmesine ihtiyaç bulunmaktadır [10]. Bu çalışmada mikroalglerden üretilen yüksek değerlikli bileşikler (PUFA, polisakkarit, protein, pigment, sterol, vitamin ve diğer bileşikler) ve bunların gıda sanayi açısından kullanım alanları derlenmiştir.

Algler

Algler basit yapılı, tek hücreli veya çok hücreli olabilen ve klorofil içeren organizmalardır. Algler yapısal olarak prokaryotik ve ökaryotik olmak üzere iki büyük gruba ayrılırlar. Prokaryotlar olarak adlandırılan bu sınıfta Siyanobakteriler (Cyanophyta ve Prochlorophyta gruplarını içeren) yer almaktadır. Bu gruptakiler yapılarında Klorofil-a içeren prokaryotik mikroalglerdir ve en çok bilinenleri mavi-yeşil olanlarıdır. İkinci ana grup olan ökaryotik mikroalgler ise çok çeşitli algal sınıflardan oluşmaktadır. Bunlar, Rhodophyceae (kırmızı alg, *Porphyridium* türleri); Chlorophyta (yeşil alg, *Chlorella*, *Dunaliella*, *Haematococcus*); Dinophyta (dinoflagellates, *C. cohnii*); Chrysophyta (sarı-kahverengi algler, *Ochromonas malhamensis*); Prymnesiophyta

(*Prymnesium paruum*, *Isochrysis* ve *Pavlova* suşları); Bacillariophyta (diatomlar, *Nitzschia laevis*); Xanthophyta (*Monodus subterraneus*); Rhaphidophyta (*Fibrocapsa japonica*); Phaeophyta (kahverengi algler)'dir [11].

Gıda Sanayi Açısından Önemli Mikroalgler

Yüzyıllardır insan beslenmesinin bir parçası olan mikroalgler, yeni bir besin kaynağı değildir. Örneğin, *Nostoc* Asya'da kullanılırken, *Spirulina* Afrika'da bazı kabileler tarafından kullanılmıştır [12]. Son yıllarda mikroalg biyokütlesi sağlıklı gıdalarda kullanılmaktadır [13]. Çeşitli mikroalglerin [14] ve gıda maddelerinin [15] protein, karbonhidrat ve yağ içerikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Alglerin ve çeşitli gıda maddelerinin genel bileşimi [13, 14]

Bileşen	<i>Spirulina</i>	<i>Dunaliella</i>	<i>Haematococcus</i>	<i>Chlorella</i>	Yumurta	Süt	Et
Protein (%)	63	7.4	23.6	64.5	47	26	43
Yağ (%)	4.3	7.0	13.8	10.0	41	28	34
Karbonhidrat (%)	17.8	29.7	38.0	15.0	4	38	1

Mikroalglerin yıllık üretimi yaklaşık 7,5 milyon tondur. Mikroalglerin küresel pazar değerinin yaklaşık 6,5 milyar dolar olduğu tahmin edilmektedir. Bu miktarın yaklaşık 2,5 milyar dolarını gıda ve sağlık sektörü, 1,5 milyar dolarını

dokozahegzanoik asit (DHA, C22:6n-3) üretimi ve 700 milyon dolarını da su ürünleri yetiştiriciliği oluşturmaktadır [16]. En çok gıda sanayinde kullanılan mikroalgler: *Cyanophyceae* (mavi-yeşil alg), *Chlorophyceae* (Yeşil alg),

Bacillariophyceae (diatoms), ve *Chrysophyceae* (Altın alg)'dir [17]. Son 20 yıldan bu yana, mikroalglerin biyoteknolojik ve nutrasötik uygulamaları özellikle dört ana mikroalge odaklanmıştır: *Spirulina* (*Arthrospira*), *Chlorella*, *Dunaliella salina* ve *Haematococcus pluvialis* [18].

***Chlorella vulgaris* Uygulamaları**

Chlorella vulgaris Uzak Doğu'da antik çağlardan beri alternatif bir ilaç olarak kullanılmaktadır. Genellikle güvenli kabul edilen (GRAS) statüsünde olmamasına rağmen gıda takviyesi olarak Çin, Japonya, Avrupa ve ABD dahil olmak üzere birçok ülkede yaygın olarak üretilir ve pazarlanır. *Chlorella* sağlıklı gıdalarda yaygın olarak kullanılan besin spektrumu olarak (örneğin karotenoidler, vitaminler, mineraller), hayvan yemi ve su ürünleri yetiştiriciliğinin yanı sıra gıda pazarı için geniş bir potansiyel kaynak olarak düşünülmektedir. *Chlorella* hücreleri, aktif immünohistimülant (serbest radikal sönmüleyici ve kan yağlarını azaltıcı olarak rol oynayan) olan β -1,3-glukan içermektedir. *Chlorella*'da bulunan polisakkaritler antitümör etkisi ile ilişkilendirilmektedir [6]. *Chlorella*, mide ülseri, yaralar, kabızlık, anemi, hipertansiyon, diyabet gibi birçok bozukluk

üzerine sağlık teşvik eden faktör olarak önemlidir [19].

İnsan tüketimi için, Portekiz Allma ve Necton bazlı alg şirketleri tarafından *Chlorella* çorbalar, darı, meyve suları, bisküviler, dondurmalar, smoothieler de kullanılmaktadır. Buna ilaveten, geleneksel yağlı bisküvilere renklendirici olarak *Chlorella vulgaris* biyokütlesi eklenmiş ve bisküvilerin tekstürel özelliklerinin geliştiği gözlemlenmiştir [20]. Mikroalg biyokütlenin eklenmesi ile bisküvinin sıklığının (firmness) arttığını bildirmişlerdir. Ayrıca yine aynı çalışma ile proteinlerce ve polisakkaritlerce zengin mikroalg biyokütlenin çok az miktarda un ile yer değişiminin bisküvilerin sıklığını arttırdığı bildirilmiştir.

Chlorella vulgaris biyokütlesinin yağ ikame edici olarak ve emülsiyon edici özellikleri Raymundo vd. [21] tarafından araştırılmıştır. % 55 yağ ve %2 mikroalg içeren emülsiyonların, %65 yağ ve hiç mikroalg içermeyen emülsiyonlardan daha fazla yapılı olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, mikroalg malzemesi tarafından sürekli fazın vizkozitesinin artmasıyla açıklanmıştır.

***Spirulina* Uygulamaları**

Spirulina (*Arthrospira*) yüksek protein içeriğine ve besin değerine sahiptir [2] (Tablo 1) ve gıda takviyesi olarak dünya

çapında popülerlik kazanmıştır. *Spirulina*, ayrıca %62 amino asit içeriğine sahiptir ve vitamin A, B1, B2, B12, karotenoidler ve ksantofil dahil olmak üzere fitopigmentler bakımından zengin bir doğal kaynaktır [22]. *Spirulina*, γ -linolenik asit (GLA) içeren en zengin alg kaynaklarından biridir. GLA, çoklu doymamış yağ asidi ve güçlü bir nutrasötik maddedir [23]. *Spirulina*,

mükemmel bir fikobiliprotein kaynağıdır. Serbest radikal sönmleme kapasitesinin yüksek olması nedeniyle bu bileşikler potansiyel antitümör ve antikanser takviyesi olarak da kullanılmaktadır [24]. *Spirulina*, erişte, kurabiye ve diğer fonksiyonel gıda ürünleri ile birlikte kullanılabilir [25-29] (Tablo 2).

Tablo 2. Bazı mikroalgelere ait çeşitli gıda uygulamaları

Ürün	Mikroalg miktarı	Yararları	Kaynaklar
Vegan protein içeceği	%10-12 <i>Spirulina</i> tozu	Peynir altı proteini için vegan ikame edici	[25]
Erişte ve makarna	%3-5 <i>Spirulina</i> tozu	Sağlıklı gıda	[25]
Fikosiyenin takviye edici	C-Fikosiyenin	Antikanser, antioksidan ve antiinflamatuvar	[26]
Organik tavuk yemi	%5-10 <i>Spirulina</i> granülleri	Daha iyi et kalitesi	[25]
Organik enerji bar	%5-10 <i>Chlorella</i> tozu	Peynir altı proteini için vegan ikame edici	[25]
Erişte	<i>Chlorella</i>	Sağlıklı yiyecek	[25]
Bisküvi	%1-3 <i>I. galbana</i>	Besinsel yiyecek	[27]
Ekmek	%10 <i>Dunaliella</i> sp.	Protein içerikli besinsel yiyecek	[28]
Yoğurt	%0.25 <i>Chlorella</i> sp. tozu	Besinsel yiyecek	[29]

***Dunaliella* Uygulamaları**

Dunaliella, yüksek konsantrasyonda özellikle β -karoten üretme kapasitesine sahiptir. *Dunaliella* tarafından üretilen diğer karotenoidler arasında lutein, neoksantin, zeaksantin, viyolaksantin, α -karoten ve kriptoksantin bulunmaktadır [30]. Bu uygulamalar arasında besin karışımları, tabletler, kapsüller, hayvan

yemi, doğal pigmentler ve boyalar gibi insan sağlığına ek besin takviyeleri bulunmaktadır. Kırmızıdan turuncuya *Dunaliella* tozu %1-3 oranında β -karoten içermektedir. Yağ bazlı β -karoten ekstraktı margarin ve içecekleri renklendirmek amacıyla kullanılmaktadır [31].

Haematococcus Uygulamaları

Haematococcus pluvialis doğada en yüksek astaksantin seviyesi (kuru ağırlıkta % 1.5-3.0) biriktiren organizma olarak tanımlanmıştır [32]. Kabuklularda ve balıklarda yaygın olarak bulunan aksaksantin, su ürünleri yetiştiriciliğinde balıkların pigmentasyonu için kullanılan çok yararlı kırmızı karotenoiddir [33]. *H.pluvialis*, ABD, Japonya ve birkaç Avrupa ülkesinde besin takviyesi olarak tüketilmekte ve somon yemlerinde renk maddesi olarak kullanılmaktadır [34]. Ayrıca, *H.pluvialis*, kırmızı hücre içeren astaksantinde yağ asit içeriği %30-60 kuru ağırlığa sahip olması ile biyo-refine etme suşu için çok iyi bir adaydır [35].

Mikroalglerde Bulunan Önemli Biyoaktif Bileşikler

Mikroalgler, β -karoten, astaksantin, dokozahegzanoik asit (DHA, C22:6n-3), eikozapentanoik asit (EPA), biyoaktif ve fonksiyonel pigmentler, doğal boyalar, polisakkaritler, antioksidanlar gibi yararlı biyo-ürünler üretirler [16].

Pigmentler

Alglerin en belirgin özelliklerinden biri renkleridir. Büyük fotosentetik pigment olan klorofil dışında mikroalgler

fikobiliproteinler ve çok çeşitli karotenoidler de içermektedir. Bu doğal pigmentler, güneş ışınlarının zararlı etkilerinden mikroalgleri korurken, güneş ışığı emilimine yardımcı olurlar [32]. Tüm alglerde birincil fotosentetik pigment olan klorofil mikroalglerde kuru maddede %0.5-1.5 oranında bulunur ve yara iyileşmesi ve anti-enflamatuar özellikleri nedeniyle gıda ve eczacılık ürünlerinde kullanılmaktadır [36].

Karotenoidler, provitamin A gibi davranma yeteneğine sahip doğal pigmentlerdir ve mikroalglerde kuru maddede %0.1-0.2 seviyesinde bulunur [37]. Çalışmalar, karotenoid bakımından zengin bir beslenmenin, ateroskleroz ve kanser gibi serbest radikalleri içeren hastalık riskini azaltabileceğini göstermiştir [32]. β -karoten, gıdalarda pigment olarak peynir, yağ ve margarinde kullanılmaktadır [2]. Mikroalgler tarafından üretilen temel karotenoid, *D. salina* tarafından üretilen β -karoten ve *H. pluvialis* tarafından üretilen astaksantindir [38]. Tablo 3'de çeşitli mikroalg türlerine ait farklı biyoaktif bileşenler ve sağlık açısından yararları gösterilmiştir.

Tablo 3. Farklı mikroalg türlerinde bulunan biyoaktif bileşikler ve sağlığa yararları

Mikroalg türü	Biyoaktif bileşikler	Yararları	Kaynaklar
<i>C.vulgaris</i>	Santaksantin	Renk maddesi ve antioksidan	[39]
	Lutein	Antioksidan, antikanser, kalp rahatsızlıklarını önler	[40]
	Sülfonatlanmış polisakariter	Antiviral, Antikanser, antioksidan	[41]
	EPA	Besin takviyesi	[42]
	Glukoprotein	Anti-enflamatuar	[42]
	Vitamin C	kalp rahatsızlıklarını önler.	[6]
<i>H.pluvialis</i>	Astaksantin	Güçlü antioksidan özellik, anti-enflamatuar etki, antikanser	[43]
	β -karoten	Gıda renklendiricisi, Antioksidan özellik, anti kanser	[44]
<i>Dunaliella</i> spp.	Glutation	Antioksidan, kalp krizi azaltıcı etki, antikanser aktivite, anti Parkinson hastalığı	[45]
	γ -linolenik asit (GLA)	Besin takviyesi	[44]
<i>Spirulina</i> spp.	Fikosiyanin	Doğal gıda boyası, antioksidan	[44]

Doğal bir pigment olan astaksantin, C ve E vitaminleri veya β -karoten, likopen, lutein ve zeaksantin gibi diğer karotenoidlerden daha etkili güçlü bir antioksidandır. Bu pigmentin insanlarda ve hayvanlarda anti-enflamatuar ve bağışıklık artırıcı özellikleri gibi birçok faydası vardır. Ayrıca bu pigment özellikle somon yemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [32, 38]. Astaksantin doğal olarak *Haematococcus pluvialis* (*H. Pluvialis*), *Chlorella zofingiensis* ve *Chlorococcum* sp.'de bulunur [46]. *H.pluvialis* tek hücreli

tatlı su yeşil mikroalgidir. Bu tür, herhangi bir koşulda büyük miktarlarda güçlü antioksidan olan astaksantin (kuru ağırlıkta %2-3'e kadar) biriktirme kabiliyeti ile bilinmektedir. Ticari astaksantin üreten ana mikroalg *H. pluvialis*'dir [47].

Fikobiliproteinler, koyu renkli, suda çözünür ve floresan pigmentleridir. Fikobiliprotein üretiminden sorumlu temel mikroorganizmalar *Spirulina* (*Arthrospira*) ve kırmızı bir alg türü olan *Porphyridium*'dur [48]. Hem hücre içi hem hücre dışında bulunan bu pigmentler

antioksidan, anti-enflamatuvar ve hepatoprotektif özelliklere sahiptirler [49]. Hassas floresan belirteci olarak klinik teşhislerde, doğal renklendirici olarak kozmetik ve beslenmede veya sakız, şekerleme, süt ürünleri ve dondurma gibi gıda ürünlerinde kullanılmaktadır [32]. Mavi renkli fikosiyeninler, siyanobakterilerde yüksek miktarda bulunan ve ekonomik olarak önemli bir fikobiliprotein çeşididir. Fikosiyenin, *Spirulina* ve *A.flos-aquae* gibi siyanobakteride bulunur [32]. C-PC ticari olarak fototrofik siyanobakteri türü olan *Arthrospira plantensis* (*S.platensis*)'ten üretilmektedir. C-PC, fermente süt ürünleri, dondurma, alkolsüz içkiler, tatlılar, sakızlar gibi birçok gıda ürününde renklendirici olarak kullanılmaktadır [50].

Çoklu Doymamış Yağ Asitleri (PUFA)

Uzun zincirli çoklu doymamış yağ asitleri, örneğin omega-3 serisi, yani mikroalglerden türetilmiş eikozapentanoik asit (EPA, C20:5n-3) ve dokozahegzanoik asit (DHA, C22:6n-3) günümüzde gıda ve yem endüstrisinde kullanılan önemli ürünlerdir. Bu çoklu doymamış yağ asitleri, insanlar ve hayvanlar tarafından sentezlenemediğinden günlük diyet ile alınması gerekmektedir [32]. Omega-3 yağ asitlerine giderek artan talep, gıda pazarında küresel balık stoklarının aşırı kullanılması

nedeniyle PUFA'nın alternatif kaynaklardan elde edilme ihtiyacı artmaktadır. Bu nedenle bu yağ asitleri açısından zengin alg bazlı besin formülasyonları gittikçe önem kazanmaktadır [51].

Mikroalg yağ içeriği büyük ölçüde mikroalg türüne göre değişim göstermektedir ve en yaygın bilinen alglerde ortalama yağ içeriği kuru maddenin %20-50'sine kadar ulaşmaktadır [35]. Mikroalg yağı, hektar başına ayçiçek ve kolza tohumu gibi yağlı tohumdan daha yüksek enerji verimi sağlayan yenilenebilir enerji kaynağı olarak biyoyakıt üretiminde de kullanılabilir [52].

Mikroalgler, çeşitli hastalıkların önlenmesinde ve tedavisinde etkili olan PUFA'ları yüksek oranda içermesi nedeniyle biyoaktif lipidlerin önemli yenilenebilir kaynağı olarak kabul edilmektedir. α -linolenik asit (ALA, C18:3 ω -3), eikozapentanoik asit (EPA), dokozahegzanoik asit (DPA, C22:5 ω -3) ve DHA gibi PUFA'ların kardiyovasküler, kanser, tip 2 diyabet, böbrek yetmezliği, astım gibi çeşitli hastalıkların önlenmesinde veya tedavisinde etkili olduğu gösterilmiştir [53]. Özellikle EPA ve DHA insan metabolizması üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu yağ asitleri kolesterol, trigliserit, düşük yoğunluklu lipoprotein ve

çok düşük yoğunluklu lipoprotein miktarını azaltır ve HDL içeriğini arttırmaktadır. DHA, sinir sisteminin gelişimi, kardiyovasküler sağlık ve diğer organların sağlıklı işleyişi için gıda ve içeceklerde besin takviyesi olarak kullanılmaktadır. *Isochrysis galbana* değerli bir ω -3 PUFA kaynağı (EPA ve DHA) içeren önemli ölçüde yüksek yağ içeriği (%24) nedeniyle gıda endüstrisine umut vermektedir. Bu nedenle, mikroalgler steroller, tokoferoller, renklendirici pigmentler içermesi bakımından balık yağlarına alternatif olarak görülmektedir [32].

Cryptocodinium cohnii ω -3 çoklu doymamış yağ asitlerinden DHA açısından oldukça zengin bir türdür. *C. cohnii* toplam biyokütlenin %20'si kadar yağ içermekte olup, toplam yağ asitleri içerisindeki DHA oranının da %30-50 olduğu bilinmektedir. Toplam yağ asitleri içerisinde DHA dışında başka çoklu doymamış yağ asidi olmadığı için, mikroalglerde DHA sentezi metabolik yolu üzerinde çalışılmaya uygun bir organizma olarak görülmektedir [54].

Proteinler

Mikroalglerin yüksek protein içeriği geleneksel olmayan protein kaynağı olarak düşünülmektedir. Aslında diğer bitkilerin aksine, çoğu mikroalg insan ve hayvanda sentezlenemeyen esansiyel aminoasitlerini içermektedir [55]. *Spirulina platensis*, *C.*

vulgaris ve *I. galbana* gibi çeşitli mikroalg türlerinin yüksek protein içeriği nedeniyle, mikroalglerin protein kaynağı olarak kullanılması büyük ilgi görmektedir [56]. *Spirulina* protein içeriği kuru madde bazında % 60-70 arasında değişmektedir [31]. Protein ve aminoasit profil zenginliğine sahip *Arthrospira* ve *Chlorella*, nutrasötikler olarak veya bazı hastalıklardaki ve hücrelerdeki (dokulardaki) hasarları önlemek için fonksiyonel bileşikler olarak kullanılmaktadır [57].

Polisakkaritler

Polisakkaritler gıda endüstrisinde jelleşme ve/veya kıvam arttırıcılar olarak yaygın kullanılmaktadır. Agar, aljinat ve karagenan gibi ticari olarak kullanılan polisakkaritler, makroalglerden (özellikle *Laminaria*, *Gracilaria*, *Macrocystis*) ekstrakte edilir. Öte yandan, ticari amaçlar için en umut verici mikroalg, pekçok uygulamada karagenanların yerine sülfatlı galaktan ekzopolisakkarit üreten tek hücreli kırmızı alg olan *Porphyridium cruentum*'dur [58]. Tek hücreli kırmızı alg olan *Porphyridium cruentum*, hücre dışı polisakkaritler ve çoklu doymamış yağ asitleri gibi değerli biyoaktif maddeler sentezleyebilir [59]. Ayrıca bu kırmızı renk, fikobiliproteinler, fikosiyenin,

allofikosiyenin ve fikoeritrin ile ilişkidir [60].

Biyoaktif Bileşiklerin Biyoyararlanımı ve Biyoerişilebilirlik

Biyoyararlanım iki farklı kısma ayrılmaktadır: biyo-erişilebilirlik ve biyoaktivite.

Biyo-erişilebilirlik gıdadan salınan bir gıda bileşeni miktarını ifade etmektedir. Bu nedenle, biyoerişilebilirlik, insan sağlığını geliştirme amacı ile herhangi bir gıdanın besin verimliliğini belirlemek için anahtar bir kavramdır [61]. Biyoaktivite ise, bir gıda elementinin bağırsak boyunca asimilasyonunu ifade etmektedir [62].

Farklı mikroalglerde bulunan karotenoidler ve tokoferollerin miktarını belirlemek için çalışmalar yapılırken, bu karotenoidlerin ve tokoferollerin biyoerişilebilirlikleri mide-bağırsak modellerinde çok zor değerlendirilmiştir. Goh vd. [61] *Nanochloropsis oculata* ve *Chaetoceros calcitrans* gibi iki tropik mikroalgin toz ve ekstrakt formlarında karotenoidler (β -karoten ve likopen) ve tokoferollerin ($\alpha, \beta, \gamma, \delta$ -tokoferol) biyoerişilebilirliğini hücre dışı sindirim modeliyle değerlendirmeyi amaçlamıştır. Goh vd. [61] mikroalgin kurutulmuş ekstrakt formunun toz haline getirilmiş olanına göre daha yüksek biyo-erişilebilirliğe sahip olduğunu

bildirmişlerdir. Öte yandan, *Chlorella*'daki lutein biyoyararlanımı insanlarda test edilmiştir ve insanlar için çok yüksek biyoyararlanıma sahip olduğu bulunmuştur [61]. *Chlorella sp.*'de bulunan Vitamin B12'nin biyoyararlanımı *Spirulina*'nınkinden daha iyidir [63]. Bir çalışmada, deniz yosunu türlerinin kazein biyoerişilebilirlik değerleri üzerine çalışılmıştır. Buna göre, *P.tenera*, *U. pinnatifida* ve *Ulva pertusa* türlerinin kazein biyoerişilebilirlik değerleri sırasıyla %78, 87 ve 95 olarak belirlenmiştir [64].

Sonuç

İnsan popülasyonunun hızla artması, besleyici gıda ve sağlıklı ürünlere olan ihtiyacı da arttırmaktadır. Fonksiyonel gıda ve bileşiklerin geliştirilmesi, dünya çapında kanser, diyabet, obezite gibi pek çok önemli hastalığın önlenmesinde rol oynamaktadır. Mikroalglerin, insan beslenmesinde gereksinim duyulan çoğu besinleri ve bileşikleri bulundurmaları, üretimlerinin kısa ve kolay olması gibi pek çok olumlu özellikleri sebebiyle gelecekte beslenme ihtiyacımızı karşılamada önemli bir yer edinecekleri kaçınılmazdır. Bununla birlikte, mikroalgin gıda ürünlerinde kullanılması için mikroalgal biyoaktif bileşikler üzerinde daha fazla çalışma yapmak gerekmektedir.

Kaynaklar

[1] Kavas G, Kavas N, 2009. Fonksiyonel Gıdalarda Mikroalglerin Nutrasötik Olarak Kullanılması, Dünya Gıda Dergisi: 98-99.

[2] Alçay AÜ, Bostan K, Dinçel E, Varlık C, 2017. Alglerin insan gıdası olarak kullanımı, Aydın Gastronomy, 1(1): 47-59.

[3] Spolaore P, Joannis-Cassan C, Duran E, Isambert A, 2006. Commercial applications of microalgae, J Biosci Bioeng, 101: 87–97.

[4] Falkowski PG, Katz ME, Knoll AH, Quigg A, Raven JA, Schofield O, Taylor FJR, 2004. The evolution of modern eukaryotic phytoplankton, Sci, 305: 354–360.

[5] Richmond A, 2004. Handbook of microalgal Culture: biotechnology and applied phycology. Blackwell Science Ltd., USA.

[6] Milledge JJ, 2011. Commercial application of microalgae other than as biofuels: a brief review, Rev. Environ. Sci. Biotechnol, 10: 31–41.

[7] Becker W, 2004. Microalgae in human and animal nutrition. In: Richmond A, editor. Handbook of microalgal culture. Biotechnology and applied phycology. Oxford, U.K. Blackwell Science: 312–51.

[8] Richmond A, Preiss K, 1980. The biotechnology of algaculture, Interdiscipl. Sci. Rev, 5(1): 60–70.

[9] Del-Campo JA, Garcia-Gonzalez M, Guerrero MG, 2007. Outdoor cultivation of microalgae for carotenoid production: current state and perspectives, Appl.

Microbiol. Biotechnol, 74: 1163–1174.

[10] Thajuddin N, Subramanian G, 2005. Cyanobacterial biodiversity and potential applications in biotechnology, Current Sci. 89 (1): 47-57.

[11] Tomaselli L, 2004. The microalgal cell, 3-20, Handbook of Microalgal Culture, Biotechnology and Applied Phycology, Richmond, A. (Ed.), Blackwell Science, UK.

[12] Chacon-Lee TL, Gonzalez-Marino GE, 2010. Microalgae for healthy foods-possibilities and challenges, Compr. Rev. Food Sci. Food Saf, 9: 655-675.

[13] Hudson E, 2008. Trend watch: *Spirulina*—healthy, green, versatile. Available from:<http://www.portal.euromonitor.com.simsrad.net.ocs.mq.edu.au/passport/ResultsList.aspx>.

[14] Bishop WM, Zubeck HM, 2012. Evaluation of microalgae for use as nutraceuticals and nutritional supplements. J Nutr & Food Sci, 2: 147.

[15] Batista AP, Bandarra N, Raymundo A, Gouveia L, 2007. Microalgae biomass-a potential ingredients for the food industry. EFFoST/EHED Joint Conference. Lisbon, Portugal.

[16] Hemantkumar JN, Rahimbhai MI, 2019. Microalgae and its use in nutraceuticals and food supplements, Intechopen. Doi:<http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.90143>.

- [17] Carlsson AS, van Beilen JB, Moller R, Clayton D, 2007. Micro- and macro-algae: utility for industrial applications. EPOBIO project. Available from: <http://epobio.net/pdfs/0709AquaticReport.pdf>.
- [18] Walker TL, Purton S, Becker DK, Collet C, 2005. Microalgae as bioreactors, *Plant Cell Rep.* 24: 629–641.
- [19] Mello-Sampayo C, Corvo ML, Mendes R, Duarte D, Lucas J, Pinto R, Batista AP, Raymundo A, Silva-Lima B, Bandarra NM, Gouveia L, 2013. Insights on the safety of carotenogenic *Chlorella vulgaris* in rodents, *Algal Res.* 2: 409–415.
- [20] Gouveia L, Batista AP, Miranda A, Empis J, Raymundo A, 2007. *Chlorella vulgaris* biomass used as colouring source in traditional butter cookies, *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 4: 433–436.
- [21] Raymundo A, Gouveia L, Batista AP, Empis J, Sousa I, 2005. Fat mimetic capacity of *Chlorella vulgaris* biomass in oil-in-water food emulsions stabilised by peaprotein, *Food Res. Int.* 38: 961-965.
- [22] Richmond A, 1986. Microalgae of economic potential. In: Richmond A, editor. *CRC Handbook of microalgal mass culture*. Boca Raton: CRC Press. p 199–243.
- [23] Sajilata MG, Singhal RS, Kamat MY, 2008. Fractionation of lipids and purification of g-linolenic acid (GLA) from *Spirulina platensis*, *Food Chem.* 109: 580–586.
- [24] Hu QH, 2004. Industrial production of microalgal cell-mass and secondary products mayor industrial species. *Arthrospira (Spirulina) platensis* sp. In: Richmond A, editor. *Handbook of microalgal culture. Biotechnology and applied phycology*. Oxford, U.K. Blackwell Science: 254–72.
- [25] Raja R, Coelho A, Hemaiswarya S, Kumar P, Carvalho IS, Alagarsamy A, 2018. Applications of microalgal paste and powder as food and feed: An update using text mining tool. *Beni-Suef Univ J Basic Appl Sci*, 7(4):740-747.
- [26] Romay Ch, Gonzalez R, Ledon N, Ramirez D, Rimbau V, 2003. C-phycocyanin: a biliprotein with antioxidant, antiinflammatory and neuroprotective effects. *Curr Protein Pept Sci*, 4(3): 207-216.
- [27] Gouveia L, Coutinho C, Mendonça E, Batista AP, Sousa I, Bandarra NM, Raymundo A, 2008. Functional biscuits with PUFA- ω 3 from *Isochrysis galbana*. *J Sci Food Agric*, 88: 891-896.
- [28] Finney KF, Pomeranz Y, Bruinsma BL, 1984. Use of algae *Dunaliella* as a protein supplement in bread. *Cereal Chem.* 61: 402-406.
- [29] Cho EJ, Nam Es, Park SI, 2004. Keeping quality and sensory properties of drinkable yoghurt with added *Chlorella* extract. *Korean J Food Nutr*, 17: 128-132.
- [30] Ben-Amotz A, 2004. Industrial production of microalgal cell-mass and secondary products—mayor industrial species. *Dunaliella*. In: Richmond A, editor. *Handbook of microalgal culture. Biotechnology and applied phycology*.

Oxford, U.K.: Blackwell Science. p 273–80.

[31] Hamed I, Özogul F, Özogul Y, Regenstein JM, 2015. Marine Bioactive Compounds and Their Health Benefits: A Review, Compr. Rev. Food Sci.Food Saf, 14: 446-465.

[32] Gouveia L, Batista AP, Sousa I, Raymundo A, Bandarra NM, 2008. Microalgae in novel food products. In: Papadoupoulos, K. (Ed.), Food Chemistry Research Developments. Nova Science Publishers, New York: 75–112.

[33] Hata N, Ogbonna JC, Hasegawa Y, Taroda H, Tanaka, 2001. Production of astaxanthin by *Haematococcus pluvialis* in a sequential heterotrophic-photoautotrophic culture. J Appl Phycology, 13: 395-402.

[34] Yuan JP, Peng J, Yin K, Wang JH, 2011. Potential health promoting effects of astaxanthin: a high-value carotenoid mostly from microalgae. Mol Nutr Food Res, 55: 150-165.

[35] Solovchenko AE, 2015. Recent breakthroughs in the biology of astaxanthin accumulation by microalgal cell. Photosynth Res, 125:437-449.

[36] Ferruzi MG, Blakeslee J, 2007. Digestion, absorption, and cancer preventive activity of dietary chlorophyll derivatives, Nutr. Res, 27: 1-12.

[37] Becker EW, 1994. Microalgae: biotechnology and microbiology. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

[38] Mata TM, Martins AA, Caetano NS, 2010. Microalgae for biodiesel production and other applications: a review, Renew. Sustain. Energy Rev, 14: 217–232.

[39] Pelah D, Sintov A, Cohen E, 2004. The effect of salt stress on the production of canthaxanthin and astaxanthin by *Chlorella zofingiensis* grown under limited light intensity, World J Microbiol. Biotechnol, 20: 483–486.

[40] Tukaj Z, Matusiak-Mikulin K, Lewandowska J, Szurkowski J, 2003. Changes in the pigment patterns and the photosynthetic activity during a light-induced cell cycle of the green alga *Scenedesmus armatus*, Plant Physiol. Biochem, 41: 337–344.

[41] Mohamed ZA, 2008. Polysaccharides as a protective response against microcystin induced oxidative stress in *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus quadricauda* and their possible significance in the aquatic ecosystem, Ecotoxicol, 17: 504–516.

[42] Patil V, Källqvist T, Olsen E, Vogt G, Gislerød HR, 2007. Fatty acid composition of 12 microalgae for possible use in aquaculture feed, Aquacult. Int, 15: 1-9.

[43] Leya T, Rahn A, Lütz C, Remias D, 2009. Response of arctic snow and permafrost algae to high light and nitrogen stress by changes in pigment composition and applied aspects for biotechnology, FEMS Microbiol. Ecol, 67: 432–443.

[44] Chu WL, 2012. Biotechnological applications of microalgae, Int. e-J Sci. Med. & Edu, 6: 24–37.

- [45] Li Y, Wei G, Chen J, 2004. Glutathione: a review on biotechnological production, *Appl. Microbiol. Biotechnol*, 66: 233–242.
- [46] Tanaka T, Shnimizu M, Moriwaki H, 2012. Cancer Chemoprevention by Carotenoids, *Molecules*, 17: 3202-3242.
- [47] de Claire GZ, de Cano MS, de Mule CZ, Steyerthal N, Piantanida M, 1995. Effect of *Spirulina platensis* on glucose, uric acid and cholesterol levels in the blood of rodents, *Int. J Exp. Bot*, 57: 93-96.
- [48] Román RB, Álvarez-Pez JM, Fernández FGA, Grima EM, 2002. Recovery of pure B-phycoerythrin from the microalga *Porphyridium cruentum*, *J Biotechnol*, 93(1): 73-85.
- [49] Benedetti S, Benvenuti F, Pagliarani S, Francogli S, Scoglio S, Canestrari F, 2004. Antioxidant properties of a novel phycocyanin extract from the blue-green alga *Aphanizomenon flos-aquae*, *Life Sci*, 55: 2353-2362.
- [50] Eriksen NT, 2008. Production of phycocyanin – a pigment with applications in biology, biotechnology, foods and medicine, *Appl. Microbiol. Biotechnol*, 80: 1-14.
- [51] Koller M, Muhr A, Braunegg G, 2014. Microalgae as versatile cellular factories for valued products, *Algal Res*, 6: 52–63.
- [52] 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 Rev*, 14(2): 557–577.
- [53] Matos AP, 2017. The impact of microalgae in food science and technology, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 94 (11): 1333-1350.
- [54] Sijtsma L, de Swaaf ME, 2004. Biotechnological production and applications of the ω -3 polyunsaturated fatty acid docosahexaenoic acid, *Appl. Microbiol. Biotechnol*, 64: 146–153.
- [55] Becker EW, 2007. Micro-algae as a source of protein, *Biotechnol. Adv*, 25: 207–210.
- [56] Tokuşoglu, Ö., Ünal, M.K. (2003). Biomass Nutrient Profiles of Three Microalgae: *Spirulina platensis*, *Chlorella vulgaris*, and *Isochrysis galbana*, *J Food Sci*. 68(4): 1144-1148.
- [57] Raposo MF, Morais RM, Morais AM, 2013. Health applications of bioactive compounds from marine microalgae, *Life Sci*, 93: 479–486.
- [58] Borowitzka MA, 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.
- [59] Lu X, Nan F, Feng J, Lv J, Liu Q, Liu X, Xie S, 2020. Effects of different environmental factors on the growth and bioactive substance accumulation of *Porphyridium purpureum*. *Int J Environ Res Pub Health*, 17: 1-14.
- [60] Raposo MFJ, de Morais AMMB, de

Morais RMSC, 2015. Bioactivity and applications of polysaccharides from marine microalgae. *Polysaccharides*, 1683-1727.

[61] Goh LP, Loh SP, Fatimah MY, Perumal K, 2009. Bioaccessibility of Carotenoids and Tocopherols in Marine Microalgae, *Nannochloropsis* sp. and *Chaetoceros* sp, *Malays. J Nutr*, 15(1): 77-86.

[62] Alegria A, Garcia-Llatas G, Cilla A, 2015. Static digestion models: general introduction. In *The Impact of Food Bioactives on Health*. Springer: Heidelberg, Germany, 3-12.

[63] Watanabe F, Takenaka S, Kittaka-Katsura H, 2002. Characterization and bioavailability of vitamin B12-compounds from edible algae. *J Nutr Sci Vitaminol*, 48(5): 325-331.

[64] Fleurence J, 1999. Seaweed proteins: Biochemical, nutritional aspects and potential uses. *Trends Food Sci Technol*, 10: 25-28.