

Akuakültürde sürdürülebilir besin kaynağı olarak mikroalglerin kullanımı

Usage of microalgae as a sustainable food source in aquaculture

Esin Özçiçek^{1*} • Erkan Can² • Kadir Yılmaz³ • Şafak Seyhaneyıldız Can⁴

¹ Munzur Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü, 62000, Tunceli

² Munzur Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, 62000, Tunceli

³ Munzur Üniversitesi, Su Ürünleri Uygulama ve Araştırma Merkezi, 62000, Tunceli

⁴ Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, 62000, Tunceli

* Corresponding author: esinbagci23@gmail.com

Received date: 08.03.2017

Accepted date: 05.04.2017

How to cite this paper:

Özçiçek, E., Can, E., Yılmaz, K. & Seyhaneyıldız Can, Ş. (2017). Usage of microalgae as a sustainable food source in aquaculture. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 34(3): 347-354. doi:10.12714/egejfas.2017.34.3.15

Öz: Güvenilirliği daha fazla olan besin kaynaklarına duyulan ihtiyaç, hayvansal ürünlere göre özellikle bitki ve alglere olan ilgiyi arttırmıştır. Akuakültürde çeşitli kullanım alanları olan mikroalglerden önemli ölçüde faydalanılmaktadır. Besin olarak kullanılmalarının yanı sıra salmonlarda pigment kaynağı olarak da değerlendirilmektedir. Günümüzde büyük ölçekli ve gelişmiş kalite kontrolü ile elde edilebilen mikroalg üretim sistemlerinin maliyet etkinliğini incelemek için çalışmalar devam etmektedir. Mikroalglerin kullanımında sürdürülebilirliği sağlamak için; biyoteknoloji, biyoişleme ve yönetim prosedürleri gibi farklı alanların entegre olduğu sistemlere dayalı bir yaklaşım gerekmektedir.

Anahtar kelimeler: Akuakültür, besin, mikroalg, sürdürülebilirlik

Abstract: The need for food sources more reliability according to animal products has increased interest especially in plants and in algae. In aquaculture has benefited significantly from microalgae in the various application areas. They are used as food as well as are evaluated as sources of pigments in the salmonids. Currently, studies are underway to examine the cost-effectiveness of microalgae production systems which can be obtained by large-scale and advanced quality control. In order to ensure sustainability in the use of microalgae; a systems based approach is needed which integrates different fields such as biotechnology, bioprocess and management procedures.

Keywords: Aquaculture, food, microalgae, sustainability

GİRİŞ

Su ürünleri üretimi 2015 yılında 672 241 ton olmuştur. Üretimin %59,2'si deniz ürünleri, %5'i tatlı su ürünleri ve %35,75'i yetiştiricilik ürünlerinden oluşmaktadır. Avcılıkla yapılan üretim 397 731 ton, yetiştiricilik üretimi ise 240 334 ton olarak gerçekleşmiştir. Yetiştiricilik üretiminin %42'si iç sularda, %58'i denizlerde gerçekleşmiştir (Anonim, 2017).

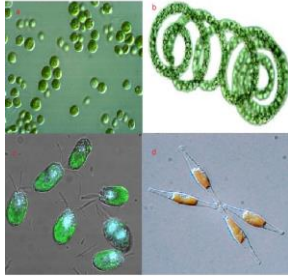
Akuakültürde sürdürülebilir üretimin artması; genel ekonomik yönetim, ileri su yönetimi, kaliteli beslenme stratejileri, çevre dostu yemler, genetik açıdan uygun stoklar, gelişmiş sağlık yönetimi ve bunların entegrasyonunun benimsenmesine bağlıdır. Akuakültür; insanlık tarihinin en eski dönemlerinden beri bilinmesine rağmen, son 30 yıldır yem üretimi ve besleme çalışmalarıyla birlikte ivme kazanmıştır. Akuakültür üretiminin yaklaşık olarak %40'ı artık ticari yeme sıkı bir şekilde bağlıdır (New ve Wagner, 2000). Balık unu formundaki yemler, özellikle karides, salmon ve alabalık gibi yüksek değerli karnivor türlerin beslenmesinde çok önemlidir. Ticari yem kullanan işletmelerin oranı, sazan çiftliklerinde %38,

deniz karidesi çiftliklerinde %83, salmon ve alabalık çiftliklerinde ise %100 civarında olmaktadır (Alvarez vd., 2007).

Algler, büyüklüklerine göre mikroalg ve makroalg olarak sınıflandırılan, fotosentetik sucul canlı grubudur. Algler, biyolojik CO₂/O₂ dönüştürücüsü olarak görev yaparlar. Bununla birlikte, biyomasın birincil üreticileri olup, organizmalar içinde en önemli ekolojik gruplardan biridir. Alglerin çoğu doğada fotoototrofik, birkaç türü ise heterotroftir. Mikroalgler enerji ürünü olarak üretilme potansiyelleri çok yüksek olan fotosentetik heterotrofik organizmalardır. Verimli toprak veya sulama gerektiren karasal bitkilerin aksine, çok farklı habitatlarda büyüyebilir (Raja, 2009). Bu nedenle, mikroalgler ışık, karbondioksit ve diğer besin maddelerine yeterli erişimin sağlandığı kültürlerde gelişmektedir (Rosenberg vd., 2008). Basit yapılı, tek hücreli olan mikroalglerin çoğu gıda sektöründe kullanılmaktadır. İçerdikleri pigment maddeleri, antibiyotikler, vitaminler nedeniyle de tıp, eczacılık alanlarında ve kozmetik ürünlerinde katkı maddesi olarak yer alırlar. Bununla birlikte; insan ve hayvan gıdası, tarım alanlarında ise organik gübre

olarak değerlendirilirler (Yılmaz, 2006). Ayrıca, son zamanlarda, yakıt üretimi için biyokütle üretiminde kullanılmaya başlanmış olan mikroalgler bu alanda da ayrı bir öneme sahiptir (Eliçin vd., 2009). Mikroalglerin başarılı şekilde ticari kullanımı; besin katkı maddeleri, antioksidanlar, kozmetik, doğal boyalar ve çoklu doymamış yağ asitlerinin üretiminde kullanılması ile gerçekleşmiştir (Spolaore vd., 2006). Alg biyomasının dünya çapındaki yıllık üretiminin yaklaşık 330 US\$/kg piyasa değeri ile 5 milyon kg/yıl olduğu tahmin edilmektedir. Biyomasın yaklaşık beşte biri kuluçkahanelerde yetiştirilen balık ve deniz kabuklularını beslemek için kullanılmaktadır (Muller-Feuga, 2004).

Akuakültürde, mikroalglerin salmon balıklarında pigmentasyon ve diğer biyolojik aktiviteler gibi temel uygulamaları beslenmeyle ilişkilidir. Mikroalgler balıkların larval dönemlerinde belli bir süre kullanılmaktadır. En sık kullanılan cinsler, *Chlorella*, *Tetraselmis*, *Isochrysis*, *Pavlova*, *Phaeodactylum*, *Chaetoceros*, *Nannochloropsis*, *Spirulina*, *Skeletonema* ve *Thalassiosira*'dır (Şekil 1).



Şekil 1. Bazı mikroalg türleri a) *Chlorella* sp., b) *Spirulina* sp., c) *Tetraselmis* sp., d) *Phaeodactylum* sp.
Figure 1. Some microalgae species a) *Chlorella* sp., b) *Spirulina* sp., c) *Tetraselmis* sp., d) *Phaeodactylum* sp.

Akuakültürde kullanılacak mikroalg türünün seçiminde; yüksek besin değerine sahip olması ve toksin içermemesi gibi çeşitli kriterlere dikkat edilmektedir (Patil vd., 2007; Raja vd., 2004b). Farklı alg türlerinin kombinasyonu daha dengeli bir beslenme sağlar ve sadece tek bir alg türü ile oluşan diyeteye göre büyümeyi daha fazla artırır (Spolaore vd., 2006). Protein ve vitamin içeriği mikroalglerin besin değerini belirlemede önemli bir faktördür. Ayrıca, çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) (örneğin, eikosapentaenoik asit [EPA], araşidonik asit [AA] ve dokosaheksaenoik asit [DHA]) içeriği büyük bir önem taşımaktadır. Mikroalglerin PUFA içeriğini geliştirmek için farklı stratejiler uygulanmaktadır. Işık şiddeti, besin durumu ya da sıcaklık gibi ortam koşulları değiştirilerek, lipid kompozisyonunun ayarlanmasına olanak vermektedir. Buna bağlı olarak, verimlilikte optimizasyon sağlanmaktadır. Genetiği değiştirilmiş mikroalgleri kapsayan multidisipliner bir yaklaşım ve işlem kontrolünü kullanarak istenilen bileşiğin üretim optimizasyonu için klasik yöntemlere başvurmak daha iyi performans gösterecektir (Hemaiswarya vd., 2011). Bu çalışmada; mikroalglerin üretim sistemleri, su ürünleri üretiminde mikroalglerin kullanımı, mikroalglerin yerine

kullanılan alternatif kaynaklar, mikroalglerin besin özellikleri ve gelecekteki araştırmalarda zooplanktonun zenginleştirilmesinde alglerin rolü değerlendirilmiştir.

Mikroalglerin üretim sistemleri

Mikroalg üretiminde kullanılan sistemler açık ve kapalı sistemler olarak sınıflandırılabilir. Büyük havuzlar, dairesel havuzlar ve kanal tipi havuzlar açık sistemlere örnek verilebilir (Borowitzka, 1997; Pulz, 2001). Mikroalg kültüründe en yaygın olarak kullanılan kapalı sistem ise, fotobiyoreaktörlerdir. Kapalı kültür sistemleri açık sistemlere göre oldukça pahalıdır ve bu sistemlerin çoğunu genişletmek veya büyütmek zordur. Ayrıca, kapalı sistemlerin çoğu yapay ışık altında iç mekân kültürü olarak kurulmaktadır. Bu durum, yüksek enerji maliyetlerine neden olmaktadır. Açık sistemler ise, güneş ışığından yararlanabildikleri için fiyat olarak daha ekonomiktirler. Sistem seçimi yapılırken dikkat edilmesi gereken özelliklerden birisi, alg kültürlerinin hangi alg üretim sisteminde daha verimli olacağına belirlenmiş olmasıdır (Naz ve Gökçek, 2006). Ticari olarak üretilen alg türlerinin çoğunun ortak özelliği, açık havada büyüyen ve diğer alg ve protozoaların kontaminasyonundan nispeten arındırılmış ve özel ortamlarda büyümeleridir (Borowitzka, 1997). Örneğin, *Chlorella* mikroalginin besin maddesi açısından zengin ortamlarda iyi yetiştiği, *Spirulina*'nın ise bikarbonatın uygun konsantrasyonu ile yüksek bir pH 10-11 değerine ihtiyaç duyduğu bildirilmiştir. Benzer şekilde, *Dunaliella salina* 0,5-6 M tuzlulukta en iyi büyümeyi göstermektedir (Raja, 2003, 2004a, 2007a). Özel ortam koşullarında yetiştirilmesi gerekmeyen *Chaetoceros*, *Isochrysis*, *Skeletonema*, *Thalassiosira*, *Tetraselmis* ve *Cryptocodinium cohnii* gibi mikroalg türlerinin kapalı sistemlerde üretimi daha başarılı olmaktadır (Hemaiswarya vd., 2011).

Mikroalglerin üretimi için dikkate alınması gereken özellikler; alg biyolojisi, arazi maliyeti, işçilik, enerji, su, besin ve nihai ürünün tipidir. Büyük ölçekli kültür sistemlerinde ışığın etkin kullanımı, sıcaklık, işletme giderleri, karbon kaynağı için gaz transferi, alg kültüründe hidrodinamik dengeli ve kültürün devamını sağlayabilmek gibi temel hususların kıyaslanması gerekir. Tüm bu hususlarda ekonomik bir sonuca ulaşmak temel amaçtır (Kargin, 2006). Endüstrinin daha da gelişebilmesi için üretilen mikroalglerin fiziksel özellikleri ve fizyolojisinin çok iyi bilinmesi ile birlikte, fotobiyoreaktörlerin inşası ve tasarımı da önemli iyileştirmeler olmalıdır (Hemaiswarya vd., 2011).

Su ürünleri üretiminde mikroalglerin kullanımı

Yumuşakça ve eklem bacaklı üretiminde mikroalglerin kullanımı

Karides larvalarının beslenmesinde yaygın olarak kullanılan yemler, özellikle canlı yemlerden olan mikroalgler ve *Artemia*'dır. Karides larvalarının gelişiminin ikinci aşamasında mikroalglere ihtiyaç duyulmaktadır ve üçüncü aşamadan itibaren zooplankton ile kombinasyon yapılır. Doğal olarak oluşan mikroalg çoğalmaları, larvaların bulunduğu yerde az su

değişimi yapılarak sağlanmaktadır. Bazen de bakteri ve gübreler daha elverişli koşullar oluşturmak için ilave edilmektedir (Lo'pez Eli'as vd., 2003; Rosenberry, 1991).

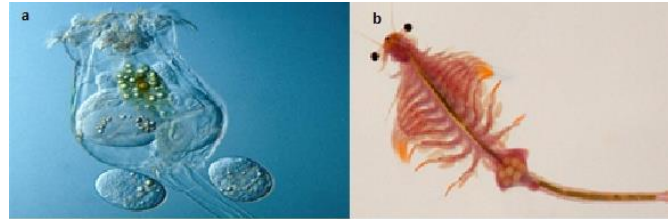
Karides larvalarının beslenmesinde kullanılan mikroalglerin büyük miktarlarda üretimi zor, karmaşık ve pahalıdır (Léger ve Sorgeloos, 1992; Watanabe vd., 1983). Yine, larva beslemede kullanılan *Artemia* uygun bir yem kaynağı olmakla birlikte, kistlerinin pahalı olması, farklı coğrafik varyetelerin besin içeriklerinin değişken olması gibi dezavantajları vardır (Léger vd., 1986; Watanabe vd., 1983). Menasveta vd. (1984) karides kuluçkahane masraflarının %60'ının *Artemia* için harcadığını bildirmektedir. Son zamanlarda, karides larvalarının beslenmesinde kullanılmak üzere besin içeriği aynı olan, larvaların tüketebileceği boyutlarda yapay mikropartikül yemler üretilmiştir (Jones vd., 1987). Bu yemler herbivor ya da omnivor beslenme özelliğine sahip penaeid larvalarının beslenmesinde başarı ile kullanılabilirken (Jones vd., 1993; Kumlu ve Jones, 1995a), karnivor karides larvalarının beslenmesinde, *Artemia* yerine kullanımlarında başarısız olunmuştur (Kumlu ve Jones, 1995b).

Çift kabukluların yoğun olarak yetiştirildiği kuluçkahanelerde işletme giderlerinin ortalama %30'unu canlı

alglerin üretimi oluşturmaktadır (Lavens ve Sorgeloos, 1996). Larvalar, besin ihtiyacını karşılamak için büyük hacimli alg kültürlerini tüketmektedir. Çift kabuklu kuluçkahanelerinde *Chaetoceros* sp., *Chlorella minutissima*, *Gomphonema* sp., *Isochrysis galbana*, *Nitzschia* sp., *Pavlova* sp., *Phaeodactylum tricornutum*, *Skeletonema* sp., *Thalassiosira pseudonana* ve *Tetraselmis subcordiformis* gibi alg türleri geniş çapta kullanılmaktadır. Bu alg türleri, 1995 yılında kuluçkahane işletmecileri arasında yapılan uluslararası bir ankette bildirilmiştir (Hemaiswarya vd., 2011).

Zooplankton ve balık üretiminde mikroalglerin kullanımı

Mikroalgler, larval beslemede zooplanktonu zenginleştirmek için kullanılmasıyla akuakültürde önemli bir role sahiptir. Bu nedenle, alg ve zooplankton suşlarının doğru boyut ve besin içeriği önemlidir. En sık kullanılan zooplankton; *Brachionus plicatilis* ve *Artemia salina*'dır (Şekil 2) (Chakraborty vd., 2007). Daha az sıklıkta ise, Kladoser (*Moina macrocarpa*, *Daphnia* sp.) ve kopepod türleri (*Euterpina acutifrons*, *Tigriopus japonicus*) kullanılır. Kuluçkahanelerde zooplanktonun çoğaltılması ve büyümesi için mikroalgler ihtiyacı duyulmaktadır. Ayrıca, yumurtadan yeni çıkmış zooplanktonun istenilen boyuta ulaşmasını sağlamaktadır (Brown, 2002).



Şekil 2. Bazı zooplankton türleri a) *Brachionus plicatilis* b) *Artemia salina*
Figure 2. Some zooplankton species a) *Brachionus plicatilis* b) *Artemia salina*

Kuluçkahanelerde genellikle *Artemia* tercih edilir. Çünkü bunların kistleri kuru faz hâlinde satın alınır. Kistler deniz suyuna daldırıldıktan sonra 24 saat içinde *Artemia* çıkar ve sindirilebilir hâle gelir. Bunlar, protein ve enerji kaynağı olmasının yanı sıra, besin zinciri yoluyla aktarılan vitaminler, yağ asitleri, pigmentler ve steroller gibi diğer önemli bileşikler de besin içeriğini oluşturmaktadır. Mikroalg ile beslenen rotiferler, kısa sürede askorbik asit ile zenginleştirilmektedir (Brown, 2002). Rotifer ya da *Artemia* beslemek için genellikle balık kuluçkahanelerinde üretilen algler; *Chlorella* sp., *Chlamydomonas* sp., *Nannochloris oculata*, *Nannochloropsis oculata*, *Tetraselmis tetrathele* ve *T. chuii*'dir (Hemaiswarya vd., 2011).

Nannochloropsis sp. çoğunlukla balık çiftliklerinde rotifer besini ve yeşil su tekniği için balık larvalarının beslenmesinde kullanılır (Rodolfi vd., 2003). Son yıllarda yapılan çalışmalarda balık yemlerine *Spirulina* ilave edilmesi ile yetiştiricilerin en büyük sorunlarından olan hastalıklar büyük oranda azalmış ve *Spirulina* ilaveli yemlerle beslenen balıklarda lezzet ve deri

pigmentasyonu artmıştır. Ayrıca, *Spirulina* yemin lezzetini artırdığı için yem alımı kolaylaşmış ve balık larvalarının büyüme oranı artmıştır. Yemlerin büyük oranı tüketildiği için de yem kaybı azalmış ve dolayısıyla da çevre kirliliği azalmıştır. *Spirulina*'nın kullanımıyla balık yemlerinin maliyet/performans oranı gelişmiştir (Anonim, 2015).

Balık kuluçkahanelerinde mikroalglerin kullanımı, canlı üretimi ve larva yetiştirme ortamının kalitesini korumak için de gereklidir (Spolaore vd., 2006). *Chlorella* sp. yetiştiricilikte yağ asitleri ve vitaminlerin primer kaynağı olarak balık yemlerine ilave edilmektedir (Gökpinar vd., 2006). Farklı vitaminler yönünden zengin olan mikroalgler, akuatik canlılar için primer vitamin kaynağı olmaları açısından da önemlidir ve mikroalg türünün besleyici değerini etkileyen önemli bir faktördür (Brown vd., 1999).

Çipura larvalarının olduğu kuluçkahanelerde başarılı olmak için *Brachionus plicatilis* (Rotifer), bir ön koşuldur. Rotifer üretiminde, maya esaslı yapay yemler de kullanılabilir. Ancak fitoplanktona göre çok daha az verimli olmaktadır. Çok sayıda

tatlı su ve deniz suyu türü için, fitoplanktonun kullandığı yetiştirme havuzlarında yaşama oranı, büyüme ve dönüşüm indeksi açısından çok daha iyi sonuçlar elde edilmektedir. Çipura balıklarında bu durum ekonomik bir zorunluluk hâline gelmiştir. Balık ve karides larvaları yetiştirme havuzlarında mikroalglerin olumlu rolü arkasındaki nedenler, tam olarak aydınlanmamıştır (Richmond, 2004). Her ne kadar su kalitesi gelişmiş, oksijen ve pH stabilizasyonu sağlanmış olsa da, bu her şeyi açıklamış değildir. Bazı biyokimyasal bileşiklerin aksiyonu, ilk avın yakalanması gibi davranışsal süreçlerin başlaması ve diğer pozitif fonksiyonlar (probiyotik etkisi, bakteri popülasyonunun düzenlenmesi gibi) da öne sürülmesine rağmen, yeterince açıklığa kavuşmamıştır (Hemaiswarya vd., 2011).

Su ürünleri üretiminde canlı mikroalglerin yerine kullanılan alternatif kaynakların verimliliği

Canlı olmayan diyetlerle beslenen balıkların canlı mikroalglerle beslenen balıklara göre büyüme oranı daha düşük ve ölüm oranı ise daha yüksek olmaktadır (Ponis vd., 2003). Bakteriler, organik molekül ve vitaminleri parçalayarak metabolik gereksinimlerin sadece bir kısmını sağlayabilmektedir (Knuckey vd., 2006; Wikfors ve Ohno, 2001). Canlı mikroalg kültüründeki doğal bakteri florasının yumuşakçaların sağlığını geliştirdiği kanıtlanmıştır. Bununla birlikte; fiziksel ve kimyasal tedavilerin, ciddi larva ölümlerine sebep olan bakteriyel kontaminasyon gelişimini sınırlandırmak için kullanılmasından bu yana bakteriler kuluçkahanelerde besin kaynağı olarak tercih edilmemektedir (Durmaz, 2007). Mayalar da alternatif bir besin kaynağı olarak araştırılmasına rağmen, sonuçların kötü olduğu gözlemlenmiştir (Ponis vd., 2003). Bu nedenle, bakteri ve mayaların canlı mikroalglerin yerine kullanımı uygun değildir (Hemaiswarya vd., 2011).

Beslenme açısından bakıldığında, canlı mikroalglerin diğer alternatif besinlere göre besleyici değeri ve sindirilebilirliği daha fazladır. Besin kaynaklarının kalitesi PUFA, vitaminler, steroller ve karbonhidratlar gibi birçok kimyasal bileşene bağlıdır (Dhontand Van Stappen, 2003). Dünya çapında, çift kabuklu yumuşakça larvalarının, kurutulmuş mikroalgleri düşük düzeyde sindirdiği ve n-3 HUFA (yüksek oranda doymamış yağ asitleri) içermediği görülmüştür (Muller-Feuga vd., 2003). Birçok çalışmada, canlı alg rasyonu yetersiz olduğunda alternatif besinlerin ek olarak kullanılabilceği belirtilmiştir. Püskürtmeyle kurutulmuş alglerin ve alg pastasının canlı alglerin %50'sinin yerine kullanılmasının yararlı olduğu bulunmuştur. Bununla birlikte *Tetraselmis*, mikroalg pastası için iyi bir aday gibi görünmesine rağmen besin kalitesi hızla bozulmuştur (Robert vd., 2001). Örneğin; kurutulmuş mikroalgler, oksidasyondan dolayı larval büyümede temel bileşenlerden olan HUFA kaybına neden olabilmektedir (Atalah vd., 2007).

Yapay veya canlı olmayan diyetler, nadiren çift kabuklu yumuşakçaların rutin beslenme sürecinde uygulanır ve çoğunlukla yedek besin kaynağı olarak kabul edilir. Mikroalglerin dondurularak kurutulmuş formları, hücre şekli ve

dokularında bozulma olmadığından canlı mikroalglerle uygun alternatif bir besindir. Hava ile ya da püskürtülerek kurutulmuş mikroalgler, yüksek işlem sıcaklığına bağlı olarak küçülüp büzülmekte ve ürün kalitesi düşmektedir. Dondurularak kurutulmuş ürünlerin kullanımı, korunması ve depolanması daha kolaydır (Lubzen vd., 1995; Yamasaki vd., 1989).

İstant algler, fotobiyoreaktörlerde yetiştirilen mikroalglerden ve bu patentli sistem, açık ve kapalı fotobiyoreaktörlerden oluşmaktadır (Pulz ve Scheibenbogen, 1998). İstant alglerin; ticari balık, karides ve kabuklu deniz ürünleri kuluçkahanelerinde canlı mikroalglerin yerine veya ilave besin olarak kullanımı kolay bir yöntemdir. Bu diyetler, balığın larval döneminden damızlık dönemine kadar kullanılabilmesiyle birlikte, genellikle canlı mikroalgler gibi performans göstermektedir. Bu nedenle, canlı mikroalglerin yerine kullanılabilir (Brown, 2002).

Mikroalglerin besin kaynağı olarak değerlendirilmesi

Mikroalglerin larva üretimini geliştirdiği bilinmesine rağmen etki mekanizması tam olarak tespit edilememiştir. Bununla ilgili gelişmiş teoriler; mikroalgli ortamda ışığın zayıflaması (gölgeleme etkileri), zooplanktonun besin kalitesini arttırması, algler tarafından sağlanan vitaminler gibi büyüme arttırıcı maddeler ve alglerin probiyotik etkisidir. Mekanizma, bu olasılıkların çeşitli bir kombinasyonu olabilir. Mikroalgler hem zooplanktonun beslenmesinde kullanılmakta hem de kültür ortamının kalitesini arttırmaya ve stabilize etmeye yardımcı olmaktadır. Tatlı su ve deniz suyundaki pek çok hayvan türü için; yetiştirme havuzlarında fitoplankton kullanımı, yaşam süresi, büyüme ve dönüşüm indeksi açısından daha iyi sonuçlar elde edilmesini sağlar (Muller-Feuga, 2000). Bunun nedeni tam olarak bilinmemektedir. Ancak su kalitesinin iyileşmesi, alg oksijen üretimi ile stabilizasyon, pH stabilizasyonu, bakteri popülasyonunun düzenlenmesi gibi süreçlerin başlamasıyla birlikte bazı atılan biyokimyasal bileşiklerin aksiyonu, probiyotiklerin etkisi ve bağıışıklığın uyarılması sebep olarak gösterilebilir (Hong vd., 2005; Raja ve Hemaiswarya, 2010).

Mikroalglerin besin değerini etkileyen birçok faktör olabilir. Mikroalglerin besin değeri ile biyokimyasal profilini ilişkilendiren çalışmalar mevcuttur (Durmaz, 2007; Richmond, 2004). Mikroalgler, son logaritmik büyüme fazında genellikle %30-40 protein, % 10-20 lipid ve %5-15 oranında karbonhidrat içermektedir (Fujii vd., 2010). *Patinopecten yessoensis* yeterli oranda PUFA içermektedir. Proteini yüksek diyetler, *Mytilus trossulus* ve *Crassostrea gigas* larvalarının büyüme oranını arttırmıştır (Knuckey vd., 2002).

Zooplanktona aktarılan mikroalg pigmentleri, besin değerine katkıda bulunmaktadır (Gagneux-Moreaux vd., 2007; Lorenz ve Cysewski, 2000; Raja vd., 2008). Bir kopepod türü olan *Temora* sp.'de lutein ve astaksantin, *Artemia*'da ise kantaksantin baskın olarak bulunan pigmentlerdir (Gentsch vd., 2009; Kang ve Sim, 2008). Kopepodlarla beslenen pisi balıklarında yeterli miktarda A vitamini bulunmasına rağmen, *Artemia* ile beslenen pisi balıklarında az miktarda A vitamini

bulunmuştur. Astaksantin ve kantaksantin, salmon balıklarının etinde bulunan pigmentlerdir (Baker, 2002; Raja vd., 2007b). Bu yem katkı maddeleri, kimyasal sentezle üretilmektedir. Günümüzde, astaksantin için biyolojik arz kaynakları, *Phaffiarhodozyma* cinsi bir mayadır (Sanderson ve Jolly, 1994). Karoten pigmentlerince zengin *Arthrospira* sp. sazan balığı yemlerine %5-20 oranında ilave edildiğinde balıkların renklerinde ve desenlerinde artış sağlanmıştır (Gagneux-Moreaux vd., 2007).

Mikroalglerin pufla / hufu açısından değlerlendirilmesi

Alglerin yağ içeriği düşük olup, %1-5 civarındadır. Bununla birlikte, içerdiği esansiyel yağ asitleri kara bitkilerinden çok daha fazladır (Duru ve Kargın, 2013). Mikroalglerden elde edilen EPA ve DHA gibi PUFA'ların, birçok larva için gerekli olduğu bilinmektedir (Sargent vd., 1997). Yağ asidi içeriği, taksonomik gruplara göre sistematik farklılıklar göstermiştir. Aynı sınıfa ait mikroalgler arasında belirgin farkların olduğu örnekler vardır. Birçok mikroalg türü, %7-34 oranında EPA içermektedir. Haptophyta (*Pavlova* sp., *Isochrysis* sp. ve *Cryptomonads*) DHA (%0,2-11) bakımından nispeten zengindir. *Nannochloropsis* ve diatomlar, AA'nın (%0-4) en yüksek yüzdesine sahiptir. Bazı türler az miktarda EPA'ya sahip olmakla birlikte, *Chlorophytes*, *Dunaliella* ve *Chlorella* türleri de C:20 ve C:22 PUFA'ları bakımından yetersizdir. PUFA eksikliğinin sebebi, Chlorophyta şubesi alglerinin genellikle düşük besin değerine sahip olmasıdır. Bu yüzden tek bir türün diyet olarak kullanılması uygun değildir (Brown, 2002). *Pavlova* sp. ve *Isochrysis* sp. gibi PUFA oranı bakımından zengin mikroalgleri zooplankton tüketebilir. EPA, eikosanoid grubunun öncüsü olarak daha üstün hayvanlarda önemli rol oynamaktadır. Prostaglandin, tromboksan ve lökotrienler gibi eikosanoidler, hormon benzeri maddelerdir. AA ve EPA, eikosanoidlerin öncül bileşikleridir. Bununla birlikte, bu iki yağ asidi eikosanoidlerden hem yapısal hem de işlevsel olarak farklıdır. Dengeli oranda EPA/AA alımı, eikosanoidlerin işlev bozukluklarını önleyebilir ve hastalıklar ile metabolik bozuklukların tedavisinde etkili olabilir (Gill ve Valivety, 1997).

Bacillariophyceae, *Chlorophyceae*, *Chrysophyceae*, *Cryptophyceae*, *Eustigmatophyceae* ve *Prasinophyceae* sınıfı gibi deniz mikroalglerinde büyük oranda EPA bulunmuştur. *Nannochloropsis* türleri, akuakültürde besin olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Aynı zamanda bu tür, EPA'nın ticari üretimi için de önerilmektedir (Apt ve Behrens, 1999). *Porphyridium purpureum*'da yüksek oranda EPA bulunduğu rapor edilmiştir (Martínez-Fernández ve Paul, 2007; Wen ve Chen, 2003). Diatomların çoğunun hayvan tarafından sentezlenemeyen EPA'yı fazla miktarda biriktirdikleri bilinir (Dunstan vd., 1993; Sicko-Goad ve Andresen, 1991). EPA içeren çok sayıda mikroalg türü bulunmasına karşın, sadece birkaç tür endüstri üretim potansiyeli göstermiştir (Raja vd., 2007b). Bu durum, spesifik büyüme oranının düşük olması ve fotoototrofik koşullar altında yetiştirilen mikroalglerin düşük hücre yoğunluğuna sahip olmalarından kaynaklanmaktadır (Hemaiswarya vd., 2011).

Sıcaklık, basınç, tuzluluk gibi çevresel faktörlerin değişmesi karşısında nispeten sabit olan fosfolipitler, biyolojik membran açısından zengindir. Karideslerde enzimatik ve hormonal işlemler ile vitellogenik süreçte PUFA/HUFA ve 22:6 (n-3) DHA gereksinimi olabilir. Kabuk değişimi için steroid hormonu üretimi, büyüme ve yumurta üretimi için, içeriğinde PUFA/HUFA bulunduran hareketli ve esnek enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulur. Balık fosfolipitleri, genellikle n-3 PUFA/HUFA olarak toplam yağ asitlerinin %50'sini içermektedir. Bu durum, balık yumurtası fosfolipitlerinde açıkça görülmektedir. Diatom lipitleri, önemli miktarda C16 (n-3) PUFA/HUFA ile 20:5 (n-3) EPA içermesine rağmen, önemsiz miktarda DHA içermektedir. Dinoflagellat lipitleri ise, büyük miktarda DHA ve 18:5 (n-3) yağ asidi ihtiva etmektedir (Gara vd., 1998).

Mikroalglerin antioksidan açısından değlerlendirilmesi

Farklı mekanizmalar sonucu oluşan serbest radikaller karşı vücuttaki doğal savunma mekanizmasını oluşturan bileşiklere "antioksidanlar" denir. Antioksidanlar, doğal antioksidanlar ve ilaçlar olmak üzere iki çeşittir. Doğal antioksidanlar arasında enzimler (superoksit dismutaz, katalaz, glutation peroksidaz, glutation redüktaz, sitokrom-C-oksidad, hidroksiperoksidaz), makromoleküller (seruloplazmin, transferrin, ferritin, myoglobin, haptoglobilin) ve mikromoleküller (β -karoten, A vitamini, C vitamini, E vitamini, tokoferoller, tiol içerener, glutation, N-asetil sistein, metionin, kaptopril, ubiguinon) sayılabilir (Hilmi, 1994). Tokoferoller (E vitamini), askorbik asit (C vitamini), karotenoidler, bioflavonoidler ve retinoidler karasal kaynaklı ürünler ile alglerde bulunan antioksidan bileşikleridir (Gökpinar vd., 2006).

Antioksidan etkisi çok güçlü olan astaksantini hücre içinde fazla miktarda biriktirebilen *Haematococcus pluvialis* (Chlorophyceae)'in kapalı sistemlerde üretimi gerçekleştirilmektedir (Torzillo vd., 2003). Vitaminler bakımından zengin olan mikroalgler, su ürünleri için primer vitamin kaynağı olmaları açısından önemlidir ve mikroalglerin besleyici değerini etkileyen önemli bir faktördür. Farklı mikroalg türleri vitamin içerikleri bakımından incelenmiştir. *Nannochloropsis* sp., *Pavlova pinguis*, *Stichococcus* sp. ve *Tetraselmis* sp. türleri 100 μmol foton $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ gibi düşük ışık şiddetiyle, 12:12 ışık rejiminde büyütülmüş ve logaritmik fazda ürün hasat edildiği zaman vitamin içeriklerinin türler arasında 2-3 kat kadar değiştiği belirlenmiştir. Vitamin miktarları kuru ağırlık olarak ifade edildiğinde, askorbat 1,3-3,0 mg g^{-1} , β -karoten 0,37-1,05 mg g^{-1} , α -tokoferol 0,07-0,27 mg g^{-1} , thiamin 29-109 $\mu\text{g g}^{-1}$, riboflavin 25-50 $\mu\text{g g}^{-1}$, total folat 17-24 $\mu\text{g g}^{-1}$, pyridoksin 3,6-17 $\mu\text{g g}^{-1}$, kobalamin 1,7-1,95 $\mu\text{g g}^{-1}$, biotin 1,1-1,9 $\mu\text{g g}^{-1}$ civarında değişmiştir. Bu değerler, akuatik besin zincirinde mikroalglerin primer vitamin kaynağı olarak diğer canlıların beslenmesinde oynadığı rolün önemini göstermektedir (Brown vd., 1999).

Chlorella sp., su ürünleri yetiştiriciliğinde yağ asitleri ve vitaminlerin primer kaynağı olarak balık yemlerine ilave edilmektedir. Radikalleri süpürme etkisi ile inhibe eden *Chlorella* ekstraktı, α -tokoferol ve karotenoidler gibi lipofilik

antioksidan bileşikler içerir (Gökpinar vd., 2006). Karotenoid biriktirebilen türler arasında *Chlorella sorokiniana*, *Chlorella zofingiensis*, *Dunaliella salina* ve *Haematococcus pluvialis* sayılabilir. *Dunaliella salina* (Chlorophyceae) en fazla tuzla parsellerinde rastlanan yüksek tuzluluğa hücre dışı gliserol salgısıyla osmoregülasyon sağlayarak adapte olmuş, yüksek miktarda karotenoid biriktirebilen birkaç mikroalg türünden biridir. *Dunaliella salina*, biyoması kuru ağırlığın %2,8 w/w düzeyinde karotenoid içeriği olan bir mikroalg türüdür. Önemli karotenoid grubu β -karoten başta olmak üzere, α -karoten, lutein ve likopen içerir. β -karoten gibi yağda çözünen pigmentler serbest radikalleri süpürür ve lipofilik yapıda olduklarından serbest radikallerin hücre içi membran yapıları üzerindeki oksidatif baskıyı azaltır. Ayrıca katalaz, peroksidaz ve super oksit dismutaz gibi karaciğer enzimlerinin yeniden onarımını sağlar (Gökpinar vd., 2006).

SONUÇ

Mikroalglerin yüksek üretim maliyeti, birçok kuluçkahane kısıtlayıcı bir faktör olmaktadır. Ancak, kuluçkahanelerde mikroalglerin üretim maliyetleri yeni teknolojik gelişmelere bağlı olarak azalabilir. Alternatif diyetlerin gelişmesi devam etmektedir. Mikroalglerin yerini tamamen alternatif diyetlerin alması olası değildir. Mikroalg türlerinin iyi seçimi, akuakültür sektörünü destekleyici olabilir. Bununla birlikte, bazı özel uygulamalar veya endüstriyel sektörler için, gelişmiş besin kalitesi veya büyüme özelliklerine sahip yeni türlerin kullanımı kuluçkahane verimliliğini artırabilir. Alternatif mikroalg türlerinin kullanımı ile üretim oranları da yükselir (Lo'pez Eli'as vd., 2003).

Alg üretimi bünyesindeki maliyet-etkinlik gelişmelerinden ayrı olarak, daha ucuz bir alg biyoması üretmek için heterotrofik yöntemler veya fotobiyoreaktörlerin kullanılması, yoğun kültür tesislerinde alg üretiminin merkezleşmesi için bir alternatiftir (Lo'pez Eli'as vd., 2003). Önemli kamçılı (*Isochrysis* sp. ve *Pavlova lutheri* gibi) konsantrelerinin geliştirilmesi ve raf ömrünü arttırmak için, daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Zooplanktonun tam veya kısmi zenginleştirilmesinde alglerin kullanımı, zooplanktonların besin kalitesini artırmak için dikkate alınmalıdır. Mikroalgler, besin

zincirleri aracılığıyla aktarılabilen bir dizi temel besin içerir. *Thraustochyrid* sp. gibi yeni algler, son derece yüksek DHA ve iyi bir DHA:EPA oranı elde etmek için zooplanktonu zenginleştirmede etkili bir yol sağlar. *Thraustochyrid*'lerin diğer beslenme özellikleri de araştırılmaktadır. Bazı eserlerde, zooplankton ve balık larvaları ile mikroalgler arasındaki araşidonik asit transferi belgelendirilmiştir. Fakat vitaminler hakkında çok daha az bilgi mevcuttur (Hemaiswarya vd., 2011).

Mikroalglerin genellikle iyi bir vitamin kaynağı olduğu ileri sürülmesine rağmen, miktarları önemli ölçüde değişebilir. Bu nedenle, zooplankton belli diyetlerle zenginleştirildiği zaman bir veya daha fazla vitamin eksikliği olabilir. Gelecekteki araştırmalar, farklı diyetlerle beslenen ve farklı kültür koşullarına sahip zooplankton için diğer gerekli besinlerin (pigmentler, steroller) transferi konularına özellikle yoğunlaşmalıdır. Ayrıca, yoğun ve yaygın kültür koşullarında yeşil su sistemleri mekanizmasının daha iyi anlaşılması, larva kültüründe mikroalglerin kullanımını iyileştirmeye yardımcı olacaktır (Hemaiswarya vd., 2011).

Genetik mühendisliği, mikroalglerin ağır metallerin biyolojik arıtımı ve biyoyakıt üretiminde kullanımını incelemiştir. Li ve Tsai (2009), bakteriyel patojenik enfeksiyonuna karşı bir organizma elde etmek için *Nannochloropsis oculata* türü içine kodon optimizasyonlu sığır laktoferini (antimikrobiyal peptid) eklemiştir. Transgenik alglerle beslenen medaka balıklarının (*Oryzias latipes*) ortalama yaşama oranı (%85), doğal alglerle beslenenlere (%5) göre daha yüksek olmuştur. Akuakültürde mikroalglerle gen ilavesi, balıkların kalitesini artırabilir (Sayre vd., 2001).

Akuakültürde, cansız mikroalg uygulamalarında başarısız sonuçlar alınmıştır. Besin olarak canlı mikroalgler ilk tercih olmalıdır. Canlı mikroalglerin yerine kısmen cansız alg konserveleri, mikrokapsüllü diyetler ya da püskürtmeyle kurutulmuş alglerin kullanıldığı çalışmalarda başarılı olunmuştur. Ancak tamamen bir değişim olması imkânsızdır. Bilimsel literatüre göre, yüksek besin değeri ve gerekli fiziksel özelliklere sahip olan canlı mikroalgler, akuakültür sistemlerinde sağlıklı yetiştirme ortamı sunmaktadır (Hemaiswarya vd., 2011).

KAYNAKÇA

- Alvarez, J.S., Llamas, A.H., Galindo, J., Fraga, I., Garca, T., & Villarreal, H. (2007). Substitution of fishmeal with soybean meal in practical diets for juvenile white shrimp *Litopenaeus schmitti*. *Aquaculture Research*, 38: 689–695. doi: 10.1111/j.1365-2109.2007.01654.x
- Anonim. (2015). Spirulina. Retrieved from <http://www.algaeindustrymagazine.com/special-report-spirulina-part-6> (15.09.2015).
- Anonim. (2017). BSGM. Retrieved from <http://www.tarim.gov.tr/sgb/Belgeler/SagMenuVeriler/BSGM.pdf> (22.03.2017).
- Apt, K.E., & Behrens, P.W. (1999). Commercial developments in microalgal biotechnology. *Journal of Phycology*, 35: 215–226. doi: 10.1046/j.1529-8817.1999.3520215.x
- Atalah, E., Hema'ndez Cruz, C.M., Izquierdo, M.S., Rosenlund, G., Caballero, M.J., Valencia, A., & Robaina, L. (2007). Two microalgae *Cryptocodinium cohnii* and *Phaeodactylum tricornutum* as alternative source of essential fatty acids in starter feeds for seabream (*Sparus aurata*). *Aquaculture*, 270: 178–185. doi: 10.1016/j.aquaculture.2007.04.009
- Baker, R.T.M. (2002). Canthaxanthin in aquafeed applications: is there any risk? *Trends in Food Science Technology*, 12: 240–243. doi: 10.1016/S0924-2244(01)00091-7
- Borowitzka, M.A. (1997). Microalgae for aquaculture: Opportunities and constraints. *Journal of Applied Phycology*, 9: 393–401. doi: 10.1023/A:1007921728300
- Brown, M.R., Mular, M., Miller, I., Farmer, C., & Trenerry, C. (1999). The vitamin content of microalgae used in aquaculture. *Journal of Applied Phycology*, 11: 247–255. doi: 10.1023/A:1008075903578
- Brown, M.R. (2002). Nutritional value of microalgae for aquaculture. In: Cruz-Sua'rez LE, Ricque-Marie D, Tapia-Salazar M, Gaxiola-Corte's MG, Simoes N (eds) *Avances en Nutricio'n Acu'cola VI. Memorias del VI*

- Simposium Internacional de Nutrición. Acuicultura. 3 al 6 de Septiembre del. anu'n. Quintana Roo, México. doi: [10.5772/30576](https://doi.org/10.5772/30576)
- Chakraborty, R.D., Chakraborty, K., & Radhakrishnan, E.V. (2007). Variation in fatty acids composition of *Artemia salina nauplii* enriched with microalgae and baker's yeast for use in larviculture. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55: 4043–4051. doi: [10.1021/jf063654i](https://doi.org/10.1021/jf063654i)
- Dhont, J., & Van Stappen, G. (2003). Live feeds in marine aquaculture. *Blackwell Science Ltd*, pp. 65–121.
- Dunstan, G.H., Volkman, J.K., Barret, S.M., & Garland, C.D. (1993). Changes in the lipid composition and maximization of the polyunsaturated fatty acid content of three microalgae grown in mass culture. *Journal of Applied Phycology*, 5: 71–83. doi: [10.1007/BF02182424](https://doi.org/10.1007/BF02182424)
- Durmaz, Y. (2007). Vitamin E (α -tocopherol) production by the marine microalgae *Nannochloropsis oculata* (Eustigmatophyceae) in nitrogen limitation. *Aquaculture*, 272: 717–722. doi: [10.1016/j.aquaculture.2007.07.213](https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.07.213)
- Duru, M.D., & Kargin, Y. (2013). Mikroalglerin Pigment Kaynağı Olarak Balık Yemlerinde Kullanımı. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 6(2): 112-118.
- Eliçin, A.K., Kılıçkan, A., Avcıoğlu, A.O., (2009). Mikroalglerden Biyodizel Üretimi. 25. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi bildiri kitabı, pp: 273 – 278. Isparta.
- Fujii, K., Nakashima, H., Hashidzume, Y., Uchiyama, T., Mishiro, K., & Kadota, Y. (2010). Potential use of the astaxanthin-producing microalga, *Monoraphidium* sp. GK12, as a functional aquafeed for prawns. *Journal of Applied Phycology*, 22: 363–369. doi: [10.1007/s10811-009-9468-z](https://doi.org/10.1007/s10811-009-9468-z)
- Gagneux-Moreaux, S., Moreau, C., Gonzalez, J.L., & Cosson, R.P. (2007). Diatom artificial medium (DAM): a new artificial medium for the diatom *Haslea ostrearia* and other marine microalgae. *Journal of Applied Phycology*, 19: 549–556. doi: [10.1007/s10811-007-9169-4](https://doi.org/10.1007/s10811-007-9169-4)
- Gara, B., Shields, R.J., & McEvoy, L. (1998). Feeding strategies to achieve correct metamorphosis of Atlantic halibut, *Hippoglossus hippoglossus* L., is using enriched Artemia. *Aquaculture Research*, 29: 935–948. doi: [10.1046/j.1365-2109.1998.29120935.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.1998.29120935.x)
- Gentsch, E., Kreibich, T., Hagen, W., & Barbara, N. (2009). Dietary shifts in the copepod *Temora longicornis* during spring: evidence from stable isotope signatures, fatty acid biomarkers and feeding experiments. *Journal of Plankton Research*, 31: 45–60. doi: [10.1093/plankt/fbn097](https://doi.org/10.1093/plankt/fbn097)
- Gill, I., & Valivety, R. (1997). Polyunsaturated fatty acids: Part 1. Occurrence, biological activities and applications. *Trends in Biotechnology*, 15: 401–409. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-7799\(97\)01076-7](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0167-7799(97)01076-7)
- Gökpinar, Ş., Koray, T., Akçiçek, E., Göksan, T., & Durmaz, Y. (2006). Algal antioksidanlar. *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, 2 -Ek (1/1): 85-89.
- Hemaiswarya, S., Raja, R., Kumar, R.R., Ganesan, V., & Anbazhagan, C. (2011). Microalgae: a sustainable feed source for aquaculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 27: 1737–1746. doi: [10.1007/s11274-010-0632-z](https://doi.org/10.1007/s11274-010-0632-z)
- Hilmi, Ş. (1994). Oksidanlar ve antioksidanlar. *Türk Hastane Tıp Dergisi*, 48: 1-2, 44-49.
- Hong, H.A., Duc, H.L., & Cutting, S.M. (2005). The use of bacterial spore formers as probiotics. *FEMS Microbiology Reviews*, 29: 813–835. doi: [10.1016/j.femsre.2004.12.001](https://doi.org/10.1016/j.femsre.2004.12.001)
- Jones, D.A., Kurmaly, K., & Arshad, A. (1987). Penaeid shrimp hatchery trials using microencapsulated diets. *Aquaculture*, 64: 133-146. doi: [10.1016/0044-8486\(87\)90349-8](https://doi.org/10.1016/0044-8486(87)90349-8)
- Jones, D.A., Kamarudin, M.S., & Le Vay, L. (1993). The potential for replacement of live feeds in larval culture. *Journal of the World Aquaculture Society*, 24(2): 199-210. doi: [10.1111/j.1749-7345.1993.tb00009.x](https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1993.tb00009.x)
- Kang, C.D., & Sim, S.J. (2008). Direct extraction of astaxanthin from *Haematococcus* culture using vegetable oils. *Biotechnology Letters*, 30: 441–444. doi: [10.1007/s10529-007-9578-0](https://doi.org/10.1007/s10529-007-9578-0)
- Kargin, Y.H. (2006). Mikroalg Üretimi İçin Fotobiyoreaktör Tasarımları. *Ege Journal of Fisheries&Aquatic Sciences*, Cilt/Volume 23, Ek/Suppl. (1/2): 327-332.
- Knuckey, R.M., Brown, M.R., Barrett, S.M., & Hallegraef, G.M. (2002). Isolation of new nanoplanktonic diatom strains and their evaluation as diets for the juvenile Pacific oyster. *Aquaculture*, 211: 253–274. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00010-8](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00010-8)
- Knuckey, R.M., Brown, M.R., Rene' Robert, R., & Frampton, M.F.D. (2006). Production of microalgal concentrates by flocculation and their assessment as aquaculture feeds. *Aquacultural Engineering*, 35(3): 300–313. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaeng.2006.04.001](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaeng.2006.04.001)
- Kumlu, M., & Jones, D.A. (1995a). The effect of live and artificial diets on growth, survival and trypsin activity in larvae of *Penaeus indicus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 26(4): 406-415. doi: [10.1111/j.1749-7345.1995.tb00836.x](https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1995.tb00836.x)
- Kumlu, M., & Jones, D.A. (1995b). Feeding and digestion in the caridean shrimp larva of *Palaemon elegans* (Rathke) and *Macrobrachium rosenbergii* (De Man) (Crustacea: Palaemonidae) on live and artificial diets. *Aquaculture Nutrition*, 1: 3-12. doi: [10.1111/j.1365-2095.1995.tb00029.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.1995.tb00029.x)
- Lavens, P., & Sorgeloos, P. (1996). Manual on the production and use of live food for aquaculture. *FAO Fisheries Technical paper*. In: Lavens P, Sorgeloos P (eds) Rome. pp. 36–19.
- Léger, P., Bengtson, D.A., Sorgeloos, P., Simpson, K.L., & Beck, A.D. (1986). The use and nutritional value of Artemia as a food source. *Oceanography and Marine Biology, An Annual Review*, 24: 521-623.
- Léger, Ph., & Sorgeloos, P. (1992). Optimised feeding regimes in shrimp hatcheries. In: Fast, A. W. and L. J. Lester, (Editors), *Marine Shrimp Culture: Principles and Practices*, Elsevier, pp. 225-244.
- Li, S.S., & Tsai, H.J. (2009). Transgenic microalgae as a non-antibiotic bactericide producer to defend against bacterial pathogen infection in the fish digestive tract. *Fish and Shellfish Immunology*, 26: 316–325. doi: [10.1016/j.fsi.2008.07.004](https://doi.org/10.1016/j.fsi.2008.07.004)
- Lo'pez Eli'as, J.A., Voltolina, D., Chavira Ortega, C.O., Rodri'guez, B.B., Sa'enz Gaxiola, L.M., Esquivel, B.C., & Nieves, M. (2003). Mass production of microalgae in six commercial shrimp hatcheries of the Mexican northwest. *Aquacultural Engineering*, 29: 155–164. doi: [10.1016/S0144-8609\(03\)00081-5](https://doi.org/10.1016/S0144-8609(03)00081-5)
- Lorenz, R.T., & Cysewski, G.R. (2000). Commercial potential for *Haematococcus* microalgae as a natural source of astaxanthin. *Trends in Biotechnology*, 18: 160–167. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-7799\(00\)01433-5](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0167-7799(00)01433-5)
- Lubzens, E., Gibson, O., Zmora, O., & Sukenik, A. (1995). Potential advantages of frozen algae (*Nannochloropsis* sp.) for rotifer (*Brachionus plicatilis*) culture. *Aquaculture*, 133:295–309. doi: [10.1016/0044-8486\(95\)00010-Y](https://doi.org/10.1016/0044-8486(95)00010-Y)
- Marti'nez-Ferna'ndez, E., & Paul, C. (2007). Use of tropical microalgae as food for larvae of the black-lip pearl oyster *Pinctada margaritifera*. *Aquaculture*, 263: 220–226. doi: [10.1016/j.aquaculture.2006.09.040](https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.09.040)
- Menasveta, P., Panichayakul, P., Piyatitvorakul, P., & Piyatitvorakul, S. (1984). Effect of different diets on survival of giant prawn larvae (*Macrobrachium rosenbergii*). *Journal of the Science Society of Thailand*, 10: 179-187.
- Muller-Feuga, A. (2000). The role of microalgae in aquaculture: situation and trends. *Journal of Applied Phycology*, 12: 527–534. doi: [10.1023/A:1008106304417](https://doi.org/10.1023/A:1008106304417)
- Muller-Feuga, A., Moal, J., & Kaas, R. (2003). The microalgae of aquaculture. In aquaculture. In: Støttrup JG, McEvoy LA (eds) Live feeds in marine aquaculture. *Blackwell Science Ltd*, pp. 253–299.
- Muller-Feuga, A. (2004). Microalgae for aquaculture: the current global situation and future trends. In: Richmond A (ed) Handbook of microalgal culture. *Blackwell Science*, pp. 352–364.
- Naz, M., & Gökçek, K. (2006). Fotobiyoreaktörler: Fototropik Mikroorganizmalar için Alternatif Üretim Sistemleri. Ulusal Su Günleri 2004, 6-8 Ekim 2004, İzmir.
- New, M.B., & Wagner, C.V. (2000). Freshwater prawn culture. *Blackwell Science*, Oxford, pp. 1–11.

- Patil, V., Kallqvist, T., Olsen, E., Vogt, G., & Gíslersdóttir, H.R. (2007). Fatty acid composition of 12 microalgae for possible use in aquaculture feed. *Aquaculture International*, 15: 1–9. doi: [10.1007/s10499-006-9060-3](https://doi.org/10.1007/s10499-006-9060-3)
- Ponis, E., Robert, R., & Parisi, G. (2003). Nutritional value of fresh and concentrated algal diets for larval and juvenile Pacific oysters (*Crassostrea gigas*). *Aquaculture*, 221: 491–505. doi: [10.1016/S0044-8486\(03\)00075-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00075-9)
- Pulz, O., & Scheibebogen, K. (1998). Photobioreactors: design and performance with respect to light energy input. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*, 59: 123–151. doi: [10.1007/BFb0102298](https://doi.org/10.1007/BFb0102298)
- Pulz, O. (2001). Photobioreactors: production systems for phototropic microorganisms. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 57: 287–293. doi: [10.1007/s002530100702](https://doi.org/10.1007/s002530100702)
- Raja, R. (2003). Studies on *Dunaliella salina* (Dunal) Teod. With special reference to its anticancer properties. *Ph.D., thesis*, University of Madras, Chennai, India.
- Raja, R., Anbazhagan, C., Ganesan, V., & Rengasamy, R. (2004a). Efficacy of *Dunaliella salina* (Volvocales, Chlorophyta) in salt refinery effluent treatment. *Asian Journal of Chemistry*, 16: 1081–1088.
- Raja, R., Anbazhagan, C., Lakshmi, D., & Rengasamy, R. (2004b). Nutritional studies on *Dunaliella salina* (Volvocales, Chlorophyta) under laboratory conditions. *Seaweed Resources Utilization*, 26: 127–146.
- Raja, R., Hemaiswarya, S., Balasubramanyam, D., & Rengasamy, R. (2007a). Protective effect of *Dunaliella salina* (Volvocales, Chlorophyta) on experimentally induced fibrosarcoma on wistar rats. *Microbiological Research*, 162: 177–184. doi: [10.1016/j.micres.2006.03.009](https://doi.org/10.1016/j.micres.2006.03.009)
- Raja, R., Hemaiswarya, S., & Rengasamy, R. (2007b). Exploitation of *Dunaliella* for β -carotene production. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 74: 517–523. doi: [10.1007/s00253-006-0777-8](https://doi.org/10.1007/s00253-006-0777-8)
- Raja, R., Hemaiswarya, S., Ashok Kumar, N., Sridhar, S., & Rengasamy, R. (2008). A perspective on the biotechnological potential of microalgae. *Critical Reviews in Microbiology*, 34: 77–88. doi: [10.1080/10408410802086783](https://doi.org/10.1080/10408410802086783)
- Raja, R. (2009). Microalgae [*Pourriel probable*] a column in the 11nd Chapter in 'Un monde invisible' edited by Laurence Bordenave, Publisher: Aubanel-La Martinie' re, La Martinie' re Group, ISBN: 978-2-7006-0670-6, France, pp. 124–126 (French).
- Raja, R., & Hemaiswarya, S. (2010). Microalgae and immune potential a chapter in dietary components and immune function–prevention and treatment of disease and cancer. In: Watson RR, Zibadi S, Preedy VR (eds) Humana Press/Springer, ISBN: 978-1-60761-060-1, USA, pp. 517–529.
- Richmond, A. (2004). Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology. *Blackwell Science Ltd.*, pp. 1–544.
- Robert, R., Parisi, G., Rodolfi, L., Poli, B.M., & Tredici, M.R. (2001). Use of fresh and preserved *Tetraselmis suecica* for feeding *Crassostrea gigas* larvae. *Aquaculture*, 192: 333–346. doi: [10.1016/S0044-8486\(00\)00456-7](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00456-7)
- Rodolfi, L., Zittelli, G.C., Barsanti, L., Rosati, G., & Tredici, M.R. (2003). Growth medium recycling in *Nannochloropsis* sp. mass cultivation. *Biomolecular Engineering*, 20, pp. 243–248. doi: [10.1016/S1389-0344\(03\)00063-7](https://doi.org/10.1016/S1389-0344(03)00063-7)
- Rosenberg, J.N., Oyler, G.A., Wilkinson, L., & Betenbaugh, M.J. (2008). A green light for engineered algae: redirecting metabolism to fuel a biotechnology revolution. *Current Opinion in Biotechnology*, 19: 430–436. doi: [10.1016/j.copbio.2008.07.008](https://doi.org/10.1016/j.copbio.2008.07.008)
- Rosenberry, B. (1991). World shrimp farming. *Aquaculture Digest*, San Diego.
- Sanderson, G.W., & Jolly, S.O. (1994). The value of *Phaffia* yeast as a feed ingredient for Salmonid fish. *Aquaculture*, 124: 193–200. doi: [10.1016/0044-8486\(94\)90377-8](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)90377-8)
- Sargent, J.R., McEvoy, L.A., & Bell, J.G. (1997). Requirements, presentation and sources of polyunsaturated fatty acids in marine fish larval feeds. *Aquaculture*, 155: 117–128. doi: [10.1016/S0044-8486\(97\)00122-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00122-1)
- Sayre, R.T., Wagner, R.E., Siripornadulsil, S., & Farias, C. (2001). Use of *Chlamydomonas reinhardtii* and other transgenic algae in food or feed for delivery of antigens. International Patent Number W.O. 01/98335 A2.
- Sicko-Goad, I., & Andresen, N.A. (1991). Effect of growth and light/dark cycles on diatom lipid content and composition. *Journal of Phycology*, 27: 710–718. doi: [10.1111/j.0022-3646.1991.00710.x](https://doi.org/10.1111/j.0022-3646.1991.00710.x)
- Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E., & Isambert, A. (2006). Commercial applications of microalgae. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 101: 87–96. doi: [10.1263/jbb.101.87](https://doi.org/10.1263/jbb.101.87)
- Torzillo, G., Goksan, T., Faraloni, C., Kopecky, J., & Masojidek, J. (2003). Interplay between photochemical activities and pigment composition in an outdoor culture of *Haematococcus pluvialis* during the shift from the green to red stage. *Journal of Applied Phycology*, 15: 127–136. doi: [10.1023/A:1023854904163](https://doi.org/10.1023/A:1023854904163)
- Watanabe, T., Kitajima, C., & Fujita, S. (1983). Nutritional values of live organisms used in Japan for mass propagation of fish: a review. *Aquaculture*, 34: 115–143. doi: [10.1016/0044-8486\(83\)90296-X](https://doi.org/10.1016/0044-8486(83)90296-X)
- Wen, Z.Y., & Chen, F. (2003). Heterotrophic production of eicosapentaenoic acid by microalgae. *Biotechnology Advances*, 21: 273–294. doi: [10.1016/S0734-9750\(03\)00051-X](https://doi.org/10.1016/S0734-9750(03)00051-X)
- Wikfors, G.H., & Ohno, M. (2001). Impact of algal research in aquaculture. *Journal of Phycology*, 37: 968–974. doi: [10.1046/j.1529-8817.2001.01136.x](https://doi.org/10.1046/j.1529-8817.2001.01136.x)
- Yamasaki, S., Tanabe, K., & Hirata, H. (1989). Efficiency of chilled and frozen *Nannochloropsis* sp. (Marine *Chlorella*) for culture of rotifer. *Memoirs of Faculty of Fisheries Kagoshima University*, 38: 77–82.
- Yılmaz, H.K. (2006). Mikroalg Üretimi İçin Fotobiyoreaktör Tasarımları. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 23(1/2): 327–332.