

Nannochloropsis sp. (Eustigmatophyta)'nin Kış Döneminde Tubular Fotobiyoreaktörde Büyüme Özelliği

*Şevket Gökpinar¹, Tolga Göksan², Semra Cirik¹, Bircan Özbaş²

¹Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, 35100, Bornova, İzmir, Türkiye

²Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, 17020, Çanakkale, Türkiye

*E mail: sevket.gokpinar@ege.edu.tr

Abstract: *Growth characteristic of Nannochloropsis sp. (Eustigmatophyta) in tubular photobioreactor in winter period.* In our country, microalgae cultures in the marine fish larvae hatcheries are carried out in transparent polyethylene bags due to the low investment costs. However, such methods, which are considered unproductive with respect to phototrophic production, result in high production costs due to the requirements of large area and high manpower. In this respect, tubular and panel photobioreactors are the productive systems having higher illumination surface and running at higher photosynthesis rate. In the experiments, BioFence tubular photobioreactor, a commercial microalgae culture system in 600 liter volume and 3 cm outer diameter, was used. The growth of *Nannochloropsis* sp., grown in the tubular photobioreactor outdoors in both batch and continuous culture modes during 47 days, was observed in the study. Accordingly, the cultures that were begun with a cell density of 16×10^6 cells ml^{-1} , were carried out 22 days in batch mode, and reached to 320×10^6 cells ml^{-1} at end of the trial. The culture was shifted to the continuous mode when the cell precipitation was observed on the bottom of the tubes due to the high cell density. The continuous mode, which was initiated just after the batch mode, was carried out 25 days. Although the system had a short illumination cycle, e.g., 7 hours a day, due to the location the system set up and the season, the system produced 81 L culture per day at an average cell concentration of 208 cells ml^{-1} during the experiment. As a result, it was shown that a tubular photobioreactor outdoors ran more efficient than the bag cultures.

Key Words: *Nannochloropsis* sp., Biofence, tubular photobioreactor, growth, winter period.

Özet: Ülkemizdeki deniz balıkları larval yetiştiricilik kuluçkahanelerinde mikroalg üretimi, kurulum maliyetlerinin nispeten daha düşük olması nedeni ile şeffaf polietilen torbalarda gerçekleştirilmektedir. Fakat fototrofik üretim açısından verimsiz sayılan bu tip yöntemlerdeki geniş alan ve yüksek işgücü gereksinimi önemli bir maliyet girdisini oluşturmaktadır. Bu nedenle, tubular sistemler ya da panel tipi fotobiyoreaktörler, daha yüksek aydınlanma yüzeyine sahip, yüksek fotosentez hızında ve yüksek verimlilikle çalışan biyoreaktör sistemlerdir. Denemelerde, ticari bir mikroalg üretim sistemi olan, 600 litre hacme ve 3 cm dış çapa sahip tubular fotobiyoreaktör sistemi (BioFence) kullanıldı. Çalışmada, *Nannochloropsis* sp.'nin 47 gün boyunca dış ortamda tubular fotobiyoreaktörde hem kesikli hem de sürekli kültür modunda büyümesi incelendi. Buna göre 16×10^6 hücre ml^{-1} yoğunlukta başlayan kültür, 22 gün kesikli kültür modunda devam ettirildi ve 320×10^6 hücre ml^{-1} sayıya ulaştı. Yüksek hücre sayısı nedeni ile tüplerin dibinde hücre birikimleri meydana geldiği zaman kültürde sürekli üretim moduna geçildi. Kesikli kültürün ardından başlatılan sürekli üretim modu 25 gün devam ettirildi. Sistem günlük ortalama 7 saat gibi düşük bir aydınlanma süresine sahip olmasına rağmen, deneme süresince günde ortalama 208×10^6 hücre ml^{-1} yoğunlukta 81 L kültür alındı. Sonuç olarak, dış ortamdaki bir tubular fotobiyoreaktör sisteminin, şeffaf naylon torbalarda yapılan kültürlere göre daha verimli çalıştığı saptandı.

Anahtar Kelimeler: *Nannochloropsis* sp., Biofence, tubular fotobiyoreaktör, büyüme, kış periyodu.

Giriş

Mikroalgler, birim alanda yüksek biyomas üretimi ve pek çok metaboliti hücre içinde yüksek miktarda biriktirmeleri nedeniyle son yıllarda üzerinde çok çalışılan organizmalardan biri olmuştur. Ayrıca atık suların arıtımında, hayvan yemlerinde, insan besin desteği olarak, akuakültürde, ve daha pek çok alanda kullanılabilmesi uygulama alanlarını arttırmıştır (Villar ve diğ., 1994; Knauer ve Southgate, 1999; Lorenz ve Cysewski, 2000; Travesio ve diğ., 2002). Özellikle hücre içinde yüksek miktarlarda biriktirdikleri yağ asitleri, üzerinde en çok durulan konulardan biri haline gelmiştir (Borowitzka, 1999a; Belarbi ve diğ., 2000). Çoklu doymamış yağ asitlerinden (PUFA) eicosapentaenoic asit (EPA), decosahexaenoic asit (DHA) ve arachidonic asit (ARA) gerek insan sağlığı, gerekse akuakültürde önem arz eden yağ

asitleridir.

Balık üretim kuluçkahanelerinde en çok kullanılan mikroalg türlerinden biri olan *Nannochloropsis* sp., rotifer kültürü ve balık larva tanklarında "yeşil su" tekniği uygulamasında önemli bir yere sahiptir (Lubzens ve diğ., 1995). *Nannochloropsis* sp. deniz balıkları larvalarının yaşama oranı ve kalitesi üzerinde önemli rol oynayan yağ asitlerinden EPA'yi yüksek düzeyde içermesi (Brown ve diğ., 1993) nedeniyle deniz balığı larvalarının yetiştiriciliğinde yaygın kullanıma sahiptir. Araştırmalar, bu mikroalg türünün hücre içeriğinde yüksek miktarda bulunan EPA üzerine odaklanmıştır (Sukenic ve diğ., 1993; Chini Ziteli ve diğ., 1999; Fabregas ve diğ., 2004).

Deniz balıkları yetiştiriciliğinde en önemli problemlerden biri larval dönemde meydana gelen ölümlerdir. Bu dönemde larvalar yüksek miktarda canlı yem gereksinimi gösterirler ve

canlı yemler larvaların yaşama oranlarını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Canlı yem üretimi, deniz balıkları üretim işletmesinde en fazla alan kaplayan ve en masraflı işlemlerinden biridir. Yapılan çalışmalar, bir çift kabuklu yumuşakça kuluçkahanesindeki üretim masraflarının %30-40 gibi büyük bir kısmının sadece mikroalg üretimi tarafından oluşturulduğunu göstermiştir (Borowitzka, 1999b). Böylesine yüksek mikroalg üretim maliyetlerinin sebebi, kuluçkahanelerde genellikle büyük hacimli tanklar ve polietilen torbalar gibi fototrofik üretim tekniği bakımından verimli olmayan, düşük biyomas üretimine sahip sistemlerin kullanımıdır (Fulks ve Main, 1991). Bu tip sistemler yerine, birim alandan daha fazla ürünün alındığı ve mikroalg hücrelerinin ışıktan daha fazla yararlanabildiği farklı tiplerdeki tubular fotobiyoreaktörlerin kullanılması işletme ekonomisine önemli katkılarda bulunacaktır (Torzillo ve diğ., 1993; Tredici ve Zitelli, 1998).

Ülkemizde büyük hacimli tubular fotobiyoreaktörlerde mikroalg üretimi, sadece özel bir balık üretim işletmesi tarafından kısa bir süre için gerçekleştirilmiş ve daha sonra bu sistem kullanım dışı bırakılmıştır. Deniz balığı larval yetiştiriciliğinde vazgeçilmezlerden biri haline gelen *Nannochloropsis* sp. (Chlorophyceae)'nin dış ortamda kış dönemindeki üretimi, ülkemizde ilk olarak bu çalışma ile tubular fotobiyoreaktörde denenmiştir.

Nannochloropsis sp. ile tubular fotobiyoreaktörlerde yapılan mevcut çalışmalar ise kontrollü koşullar altında kısa süreli (Sandnes ve diğ., 2005) veya dış ortamda yaz döneminde (Chini Zitelli ve diğ., 1999) gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma, gerek deniz balığı larvaları için mikroalglerin en çok ihtiyaç duyulduğu kış aylarında sistemin 47 gün gibi uzun bir süre ile çalıştırılması, gerekse tamamen dış faktörlere açık bir ortamda gerçekleştirilmesi nedeniyle önem taşımaktadır. Çalışmada, *Nannochloropsis* sp.'nin dış ortam koşullarında kış döneminde kesikli/sürekli kültür modlarında büyüme özellikleri araştırılmıştır.

Materyal ve Yöntem

Çalışma, Kılıç Deniz Ürünleri A.Ş.'nin Bafa Gölü kıyısında bulunan işletmesinde 30.11.2006 – 17.01.2007 tarihleri arasında gerçekleştirildi. Denemelerde işletmenin üretimde kullanmış olduğu *Nannochloropsis* sp. kullanıldı. Kültürler, BioFence ticari ismi ile piyasada satılmakta olan tubular sistemlerde üretildi (Şekil 1).

Büyüme ortamı olarak; 6,6 g l⁻¹ MgSO₄·7H₂O, 5,6 g l⁻¹ MgCl₂·6H₂O, 1,5 g l⁻¹ CaCl₂·2H₂O, 1,45 g l⁻¹ KNO₃, 0,12 g l⁻¹ KH₂PO₄, 0,04 g l⁻¹ NaHCO₃, 0,01 g l⁻¹ FeCl₃·6H₂O, 0,078 g l⁻¹ Na₂-EDTA, 0,01 mg l⁻¹ CuSO₄·5H₂O, 0,022 mg l⁻¹ ZnSO₄·7H₂O, 0,01 mg l⁻¹ CoCl₂·6H₂O, 0,18 mg l⁻¹ MnCl₂·4H₂O, 0,006 mg l⁻¹ Na₂MoO₄·2H₂O kullanıldı (Zou ve Richmond, 1999). Tuzluluk ‰35-37 aralığında sabit tutuldu. Yüksek fotosentez hızı nedeni ile yükselen pH değerinin düşürülmesi için kültüre CO₂ takviyesi yapıldı. Kültürde pH ve sıcaklık değerleri 2 saat aralık ile düzenli olarak 24 saat boyunca ölçüldü. Denemenin kış aylarında gerçekleştirilmesi

nedeniyle tüplerin güneşten aşırı ısınması söz konusu olmadı. Sıcaklığı artırmak amacıyla kültür dönüş tankına iki adet rezistanslı ısıtıcı takıldı. Ayrıca sıcaklık kontrolü amacıyla, tüplere gündüz periyodunda 20 °C sabit sıcaklıktaki su ile duş yaptırıldı.



Şekil 1. Denemelerde kullanılan BioFence mikroalg üretim sistemi

Denemeler hem kesikli hem de sürekli kültür modunda gerçekleştirildi. Buna göre, kesikli kültür 22 gün, sürekli kültür ise 25 gün sürdürüldü. Sürekli kültür moduna geçildiğinde, 300 litrelik polyester tank içinde bulunan yeni besin ortamı peristaltik pompa yardımıyla sisteme aktarıldı ve hücre sayısı 200 x 10⁶ hücre ml⁻¹ civarında sabit tutuldu. Hücre sayımı Thoma sayma kamarasında günde 3 defa olacak şekilde 3 tekrarlı gerçekleştirildi. Denemelerin yapıldığı mevsim itibariyle sistem üzerinde ortalama 7 saatlik bir aydınlanma gerçekleşti. Spesifik büyüme hızı (μ) aşağıdaki formüle göre hesaplandı:

$$\mu = \frac{\ln X_2 - \ln X_1}{t_2 - t_1}$$

Formüle X_2 ve X_1 sırasıyla t_2 ve t_1 zamanlarındaki hücre sayılarını temsil etmektedir.

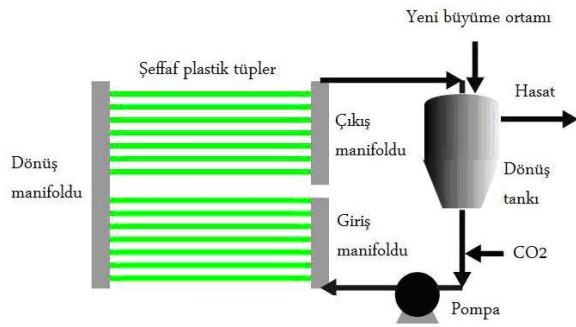
Denemelerde kullanılan üretim sisteminde dış çapı 3 cm olan şeffaf tüpler kullanıldı. Her bir tüp kümesinde uzunluğu 5 m olan 16 adet tüp üst üste sıralanmakta (53 litre) ve sistemde böyle 6 tüp kümesi bulunmaktadır. Buna göre tüplerde dolaşan kültür hacmi yaklaşık 300 litre olup, dönüş tankında da 300 litre kültür olmak üzere sistemin toplam hacmi 600 litreye ulaşmaktadır. Sistem içinde kültürün sirkülasyonu için Calpeda marka 0,45 kw'lık pompa kullanılmakta ve kültür tüplerde 0,5 m sn⁻¹ sirkülasyon hızı ile dönmektedir.

Bu sistemin en önemli özelliği, sisteme giren kültürün tüplerin içinde 8'li gruplar halinde yol almasıdır (Şekil 2). Kullanılan manifold sistemi ile kültür bir üst seviyedeki diğer sekiz tüpten oluşan kümeye geçerek tubular sistemi içindeki döngüsüne devam eder. Bu tip bir manifold uygulaması ile tubular sistemler için en önemli dezavantajlardan biri olan sistem içinde yüksek miktarda oksijen birikiminin önüne geçilmektedir.

Bulgular

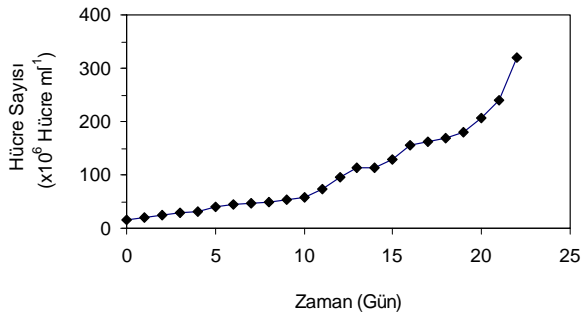
Denemeler kesikli ve sürekli kültür modlarının birbirini takip etmesi suretiyle iki aşamada gerçekleştirildi. İlk aşama olan kesikli kültür 22 gün devam ettirildi (Şekil 3). Çoğunlukla

bulutsuz ve güneşli bir havada gerçekleşen deneme süresince üç farklı safha tespit edildi. Denemeye ilk başladığında 16×10^6 hücre ml^{-1} olan hücre sayısı 10 gün sonunda sabit bir artış göstererek 58×10^6 hücre ml^{-1} sayıya ulaştı. Bu safhada spesifik büyüme hızı (μ) 0.13 bölünme gün^{-1} olarak hesaplandı. Diğer bir safha 10-16 günler arasında görüldü ve hücre sayısı 16. günde 156×10^6 hücre ml^{-1} sayıya ulaştı ($\mu = 0.16$ bölünme gün^{-1}). Havanın 17 ve 18. günlerde kapalı olması nedeniyle hücre sayısında önemli bir artış gerçekleşmedi. En son safha ise 19-22 günler arasında görüldü ve hücre sayısı 179×10^6 hücre ml^{-1} 'den 320×10^6 hücre ml^{-1} 'ye ulaştı ($\mu = 0.19$ bölünme gün^{-1}). Şekil 3'te de görüleceği üzere en hızlı hücre artışı 19-22. günler arasında meydana geldi.



Şekil 2. BioFence tubular sisteminin çalışma prensibi (<http://variconaque.com/schematic.htm>)

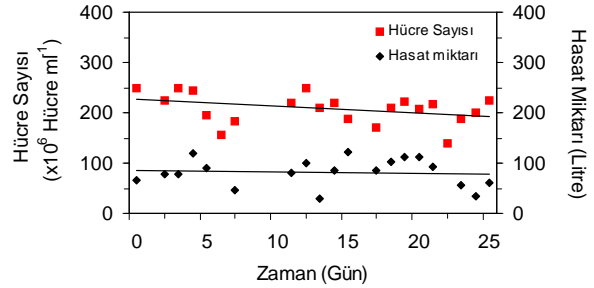
Sıcaklık değişimleri incelendiğinde, en düşük kültür sıcaklıklarının sabah 06:00–08:00 saatleri arasında gerçekleştiği gözlemlendi. Denemenin 12. günü sabah kültür sıcaklığı 11.4°C 'ye kadar düşmesine rağmen, tüplerin üzerine güneşin gelmesiyle beraber sıcaklık hızla yükseldi. Buna göre, 22 günlük kesikli kültür periyodunda aktif olarak fotosentezin gerçekleştiği 09:30–16:30 saatleri arasındaki ortalama sıcaklık değeri $20.4 \pm 0.3^\circ\text{C}$ olarak bulundu. Hızlı fotosentez sonucu kültürde artan pH değerinin düşürülmesi amacıyla sisteme sadece gündüz periyodunda CO_2 ilavesi yapıldı. Gece periyodunda pH değerinde artış yaşanmadığı için CO_2 ilave edilmedi. Buna göre sistemin aktif olarak büyüdüğü 10:00–16:00 saatleri arasında pH değerleri ortalama 7.89 ± 0.07 olarak bulundu.



Şekil 3. *Nannochloropsis* sp.'nin dış ortamda BioFence sisteminde kesikli kültürü.

Kesikli kültürün sona erdirilmesinden hemen sonra başlayan sürekli kültür denemesi 25 gün sürdürüldü (Şekil 4). Deneme süresince, hücre sayısı ortalama 200×10^6 hücre ml^{-1} olacak şekilde sisteme yeni besin ortamı ilavesi yapıldı. Buna göre, 25 gün devam ettirilen denemede sistemdeki ortalama hücre sayısı 208×10^6 hücre ml^{-1} , hasat miktarı ise 81 litre gün^{-1} oldu. 600 litre toplam hacme sahip bu sistemden günlük ortalama 16.85×10^{12} hücre elde edildi.

Sürekli kültür modunda, özellikle denemenin 4 – 6. günleri arasında dış ortam sıcaklığı eksi değerlere düşmüş olsa da sistemde bulunan ısıtıcıların yardımıyla kültür sıcaklıkları geceleri 8.9°C 'nin altına düşmedi. Gündüz periyodunda ise havanın da güneşli olması sayesinde sistem içerisindeki sıcaklık kısa sürede 17.5°C 'ye yükseldi. Sürekli kültür süresince gündüz periyodunda ortalama kültür sıcaklığı $18.8 \pm 0.2^\circ\text{C}$, ortalama pH değeri ise 8.04 ± 0.03 olarak ölçüldü.



Şekil 4. *Nannochloropsis* sp.'nin dış ortamda BioFence sisteminde sürekli kültürü.

Tartışma ve Sonuç

Mikroalg üretiminin zorunlu olduğu sektörlerin başında deniz balıkları, karides ve çift kabuklu yumuşakçalar üretim tesisleri gelmektedir. Özellikle ülkemiz deniz balıkları yetiştiriciliği konusunda Avrupa'da söz sahibi ülkelerden biri konumuna gelmesine rağmen, kuluçkahanelerde mikroalg üretimi halen verimsiz bir üretim sistemi olan şeffaf polietilen (PE) torbalarda gerçekleştirilmektedir. Bu tip sistemlerde üretim ya 20 cm (25-30 litre) yada 50 cm (300-350 litre) çaptaki PE torbalarda kesikli kültürler şeklinde yapılmaktadır. Her iki tip torba kültürünün genel özellikleri ile bu denemede kullanılan tubular fotobiyoreaktör için elde edilen değerlerin karşılaştırması Tablo 1'de verildi.

20 cm torbalardaki üretim (30 lt) yaklaşık 7 gün sürmekte ve 70×10^6 hücre ml^{-1} sayıya ulaşmakta ve 7 günde yaklaşık 2.1×10^{12} hücre elde edilmektedir. 50 cm torbalardaki üretim (300 lt) ise yaklaşık 13 gün sürmekte ve yaklaşık 6×10^{12} hücre elde edilmektedir. 600 lt hacme sahip bir tubular sistemde ise günde 16.8×10^{12} hücre üretildiği göz önüne alınırsa, böyle bir sistem ile günde yaklaşık 8 adet 30 lt torbalardan, 3 adet ise 300 lt torbalardan üretilebilmektedir. Sadece günlük üretim bakımından yapılan bu karşılaştırmada, kesikli kültür tekniği ile yürütülen PE torbalarda üretim

tamamlanincaya kadar ortaya çıkan 7-13 günlük zaman kayıpları gözardı edilmiştir. Halbuki tubular sistemlerde bu zaman zarfında üretimin devam edeceği dikkate alınmalıdır.

Tubular fotobiyoreaktörler, yüksek verimlilikte çalışan mikroalg üretim sistemlerindedir. Denemede kullandığımız üretim sistemi ile birim hacimde 300 lt PE torbalardan yaklaşık 20 kat, 30 lt PE torbalardan ise 3 kat daha yüksek üretim elde edilmiştir. Bu çalışmada tubular sistem ile elde edilen üretimin, sistemin kurulduğu konum itibarıyla günde 7 saat aydınlanma süresi olan, hiçbir ek aydınlatma düzeni olmayan ve tamamen dış faktörlere açık bir ortamda gerçekleştirildiği, aydınlanma süresinin ilkbahar ve sonbahar aylarında ortalama

10-11 saat olduğu ve torbalarda gerçekleştirilen üretimlerde yaklaşık 1/3 -1/4 oranında kültürün alınmayıp tekrar ilk ekim amacıyla yeni torbaya konduğu (8 yerine 11 küçük torba) göz önünde bulundurulursa tubular sistemin verimliliği daha iyi anlaşılacaktır. Ayrıca, bu sistemin kış döneminde bir sera içinde bulundurulması, floresan veya halojen lambalar ile aydınlatılması suretiyle hem ortam sıcaklığının artırılması hem de 24 saat ürün alınması mümkün hale gelecek ve verimliliği daha da artırılabilecektir. Yukarıda belirtilen faktörler de dikkate alındığında, denemede elde ettiğimiz ürünün en az iki katı ürün almak mümkün olabilecektir.

Tablo 1. Polietilen torbalar ve BioFence sisteminin karşılaştırılması.

Kültür Sistemi	Hacim (Litre)	Kültür Süresi (Gün)	Hücre Sayısı (Hücre ml ⁻¹)	Ortalama Üretim (Hücre gün ⁻¹)	Hacimsel Üretim (Hücre lt ⁻¹ gün ⁻¹)
PE Torba (50 cm)	300	13	20 x 10 ⁶	0.46 x 10 ¹²	1.53 x 10 ⁹
PE Torba (20 cm)	30	7	70 x 10 ⁶	0.30 x 10 ¹²	10.00 x 10 ⁹
Tubular Sistem	600	Sürekli	208 x 10 ⁶	16.85 x 10 ¹²	28.08 x 10 ⁹

Özellikle PE torbalarda gerçekleştirilen üretimlerde, torba çaplarının geniş olması nedeniyle (20-50 cm) hücreler ışık tarafından sınırlanmış durumdadır. Bu da çalışmada kullanılan 3 cm'lik tüp çapı ile karşılaştırıldığında hücrelerin ışığa çok daha az maruz kalmaları anlamına gelmekte ve düşük hücre yoğunlukları, düşük üretim, düşük verimlilik ve yüksek maliyetler oluşmaktadır. Ayrıca, PE torbalarda kültürlerin çökmesi üretim sırasında sıklıkla karşılaşılan durumlardan biridir. Bu nedenle PE torbalarda 1 kg kuru biyomas üretimi için 600 USD ve üzerinde bir maliyet ile karşılaşılabilmektedir (Borowitzka, 1997). Tubular sistemler gibi kapalı fotobiyoreaktörler ise bu olumsuzlukları büyük ölçüde gidermektedirler.

Sonuç olarak, tubular fotobiyoreaktörlerin dış ortamla temasının sınırlı olması (düşük kontaminasyon riski), yüksek bir yüzey/hacim oranına sahip olması (yüksek aydınlanma), yüksek biyomas yoğunluğuna sahip olması (yüksek verimlilik ve düşük maliyet), sabah sıcaklığının hızla optimum değerlere ulaşması, kültür parametrelerinin anında ve sürekli kontrolü (pH, O₂, T, hücre yoğunluğu), alandan tasarruf, iş gücünden tasarruf ve düşük işletim maliyeti (aydınlatma, CO₂, PE torba, kimyasal madde vb.) gibi avantajları bulunmaktadır. Özellikle, 26-28.12.2006 tarihleri arasında dış ortam sıcaklığı gündüz vakti 3.0°C'ye kadar düşmesine rağmen, sistemdeki sıcaklık kontrolü sayesinde kültür sıcaklığı 17.5 ile 18.0°C aralığında değişti. Karanlık periyotta ölçülen en düşük sıcaklık olan 8.9°C'nin ise büyüme üzerinde zararlı olmadığı görüldü. Ayrıca, 47 gün boyunca kullanılmasına rağmen 40 litre hacme sahip CO₂ tüpü halen bitmemişti. Dolayısı ile havuz ve PE torba sistemlerinde yapılan alg üretiminde yüksek bir maliyet girdisi oluşturan CO₂ sarfiyatı tubular sistemde minimize edilebilmektedir. Bunun yanı sıra, tubular fotobiyoreaktörlerin ilk kurulum maliyetinin yüksek olması, yaz döneminde yüksek sıcaklık düzeyine ulaşması nedeniyle bir soğutma sisteminin gerekli olması, sistemde aşırı oksijen birikimi ve uzman personel gereksinimi gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Fakat gerekli önlemlerin alınmasıyla, belirtilen bu

dezavantajların tamamının önüne geçilmesi mümkündür. Bu tip sistemlerde özellikle yaz döneminde sıcaklık artışının önüne geçmek için genelde tüplerin üzerine soğutulmuş su püskürtülmektedir. Böylece özellikle öğlen saatlerinde sıcaklığın üretime zarar vermesi önlenir. BioFence sisteminde kullanılan manifold sistemi ise tüplerde aşırı oksijen birikimini önleyici en etkin yöntemlerden biridir. Bu sayede, kültürün tüpler içinde geçirdiği süre, manifold sisteminde kullanılan tüp sayısı kadar düşürülmüş olacak ve üretilen oksijen de sistem içinde daha kısa süre kalacaktır. Ayrıca, uzun vadede işgücü, kimyasal madde, CO₂, PE torba ve diğer unsurlarda yapılan tasarruflar sayesinde, tubular alg üretim sistemleri daha ekonomik bir sistem haline dönüşecektir. Böylece deniz balıkları larval yetiştiriciliğinde önemli bir maliyet girdisi oluşturan alg üretim maliyetleri düşürülecek ve alg üretimi bakımından ileri teknolojiye geçilmiş olacaktır.

Kaynakça

- Belarbi E.H., E. Molina and Y. Chisti. 2000. A process for high yield and scaleable recovery of high purity eicosapentaenoic acid esters from microalgae and fish oil. *Enzyme and Microbial Technology*, 26: 516-529.
- Borowitzka M.A. 1997. Microalgae for aquaculture: opportunities and constraints. *Journal of Applied Phycology*, 9: 393-401.
- Borowitzka M.A. 1999a. Pharmaceuticals and agrochemicals from microalgae. In: *Cohen Z., (Ed.). Chemicals from Microalgae*, Taylor & Francis, 313-352, London, U.K.
- Borowitzka, M.A. 1999b. Production of microalgal concentrates for aquaculture (Part 1: algae culture). Final Report to the Fisheries Research and Development Corporation (Australia). Project 93/123. Fisheries Research and Development Corporation (Australia), Canberra, Australia, 70 pp.
- Brown, M.R., C.D.Garland, S.W., Jeffrey, I.D., Jameson, J.M. LeRoi. 1993. The gross and amino acid compositions of batch and semicontinuous cultures of *Isochrysis* sp. (clone T-Iso), *Pavlova lutheriand*, *Nannochloropsis oculata*. *J. appl. Phycol.*, 5: 285-296.
- Chini Zittelli, G., F., Lavista, A., Bastianini, L., Rodolfi, M. Vincenzini, and M.R., Tredici. 1999. Production of eicosapentaenoic acid by *Nannochloropsis* sp. cultures in outdoor tubular photobioreactors. *Journal of Biotechnology*, 70: 299-312.
- Fabregas, J., A., A. Masada, A. Dominguez, and A. Otero. 2004. The cell composition of *Nannochloropsis* sp. changes under different irradiances

- in semicontinuous culture. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 20: 31-35.
- Fulks W. and K.L. Main. 1991. Rotifer and Microalgae Culture Systems. Proceeding of a U.S.-Asia Workshop, 364, The Oceanic Institute, Honolulu, Hawaii.
- Knauer, J. and P.C. Southgate. 1999. A review of the nutritional requirements of bivalves and the development of alternative and artificial diets for bivalve aquaculture. *Reviews in Fisheries Science*, 7(3-4): 241-280.
- Lubzens, E., M. Khayat, T. Ravid, B. Funkenstein, and A. Tietz. 1995. Lipoproteins and lipid accumulation within the ovaries of penaeid shrimp. *Isr. J. Aquac. Bamidgeh*, 47, pp. 185-195.
- Lorenz R.T. and G.R. Cysewski. 2000. Commercial potential for *Haematococcus* microalgae as a natural source of astaxanthin. *Trends in Biotechnology*, 18: 160-167.
- Sandnes, J.M., T. Kallqvist, D. Wenner, and H.R. Gislerød. 2005. Combined influence of light and temperature on growth rates of *Nannochloropsis oceanica*: linking cellular responses to large-scale biomass production. *Journal of Applied Phycology*, 17: 515-525.
- Sukenik, A., Y. Yamaguchi, and A. Livne. 1993. Alterations in lipid molecular species of the marine Eustigmatophyte *Nannochloropsis* sp. *Journal of Phycology*, 26: 620-626.
- Torzillo, G., P. Carozzi, B. Pushparaj, E. Montaini, and R. Materassi. 1993. A two-plane tubular photobioreactor for outdoor culture of *Spirulina*. *Biotechnology and Bioengineering*, 42: 891-898.
- Travieso, L., Pellon, A., F. Benitez, E., Sanchez, R. Borja, N. O'Farrill and P. Weiland. 2002. BIOALGA reactor: preliminary studies for heavy metals removal. *Biochemical Engineering Journal*, 12: 87-91.
- Tredici, M.R. and G. Chini Zittelli. 1998. Efficiency of sunlight utilization: tubular versus flat photobioreactors. *Biotechnology and Bioengineering*, 57(2): 187-197.
- Villar, R., M.R. Laguna, I. Cadavid and J.M. Calleja. 1994. Effects of aqueous extracts of six marine microalgae on smooth muscle contraction in rat duodenum and vasdeferens. *Planta Medica*, 60: 521-526.
- Zou, N. and A. Richmond. 1999. Effect of light-path length in outdoor flat plate reactors on output rate of cell mass and of EPA in *Nannochloropsis* sp. *Journal of Biotechnology*, 70: 351-356. Last Modified: 14/10/2004. Tubular Bioreactors. Varicon AquaSolutions Ltd., [http://variconaquaculture.com/aquaculture .htm](http://variconaquaculture.com/aquaculture.htm) (18.09.2007).