



Kırmızı Alglerden *Gracilaria verrucosa*'nın Biyomas Verimi ve Kimyasal Kompozisyonu Üzerine Fotoperiyot Uygulamalarının Etkisinin Belirlenmesi

İlknur AK* Melis YILMAZ² Gülen TÜRKER³

*Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Fakültesi, Su Ürünleri Yetiştiricilik Bölümü, Terzioğlu Kampüsü, 17100, Çanakkale/Türkiye

²Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Fakültesi, Su Ürünleri Temel Bilimler Bölümü, Terzioğlu Kampüsü, 17100, Çanakkale/Türkiye

³Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Gıda Teknolojisi Bölümü, Terzioğlu Kampüsü, 17100, Çanakkale/Türkiye

Geliş/Received: 30.12.2022

Kabul/Accepted: 20.03.2023

Yayın/Published: 31.12.2023

Atf yapmak için: Ak, İ. Yılmaz, M. & Türker, G. (2023). Kırmızı Alglerden *Gracilaria verrucosa*'nın Biyomas Verimi ve Kimyasal Kompozisyonu Üzerine Fotoperiyot Uygulamalarının Etkisinin Belirlenmesi. *Anadolu Çev. ve Hay. Dergisi*, 8(4/E), 756-763. <https://doi.org/10.35229/jaes.1226819>

How to cite: Ak, İ. Yılmaz, M. & Türker, G. (2023). Effect of Photoperiod Applications on Biomass Yield and Chemical Composition of Red Algae *Gracilaria verrucosa*. *J. Anatolian Env. and Anim. Sciences*, 8(4/S), 756-763. <https://doi.org/10.35229/jaes.1226819>

*ID: <https://orcid.org/0000-0002-0233-0025>

ID: <https://orcid.org/0000-0002-8776-2117>

ID: <https://orcid.org/0000-0002-7554-1544>

*Sorumlu yazarın:

İlknur AK

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Fakültesi, Su Ürünleri Yetiştiricilik Bölümü, Terzioğlu Kampüsü, 17100, Çanakkale/Türkiye

✉: ilknurak@comu.edu.tr

Öz: Bu çalışmada kırmızı alglerden *Gracilaria verrucosa* (Hudson) Papenfuss tank kültür sistemlerinde 100 μmol foton $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ışık şiddetinde, farklı fotoperiyotlar (24:00, 16:08, 12:12 ve 08:16 (Aydınlık (A):Karanlık (K))) uygulanarak algin büyüme hızında ve kimyasal içeriğinde meydana gelen değişimler izlenmiştir. Çalışma sonucunda deneme grupları arasında en yüksek büyüme hızı 16:8 (A:K) fotoperiyot uygulanan grupta bulunmuştur. Deneme gruplarının klorofil *a* içerikleri aydınlanma süresi arttıkça azalmıştır. Büyüme hızı arttıkça algin fikosiyanın ve fikoveritrin içeriklerinin azaldığı belirlenmiştir. Çalışmada grupların ham protein içerikleri %9,14±0,13 (24:24) ile %10,92±0,25 (12:12) arasında değişim göstermiştir. Tüm deneme gruplarının yağ içerikleri %1'den az bulunmuştur. Alg talluslarının kül içerikleri arasında istatistiksel olarak önemli derece farklılıkların olmadığı görülmüştür ($p>0,05$). Deneme gruplarının agar içerikleri %8,36±0,24– 13,19±1,09 arasında değişim göstermiştir. En yüksek agar içeriği 8:16 foto periyot uygulanan grupta saptanmıştır. Yüksek ışık şiddeti ve uzun aydınlanma sürelerinin algin serbest radikal temizleme aktivitesini arttırdığı çalışma sonucunda saptanmıştır. Deneme gruplarının toplam fenolik madde içerikleri ile 1,82±0,03 (8:16) ile 2,84±0,04 (24:24) mg GAE g^{-1} ekstrakt arasında değişim göstermiştir. En yüksek toplam flavonoid içeriği 8:16 (A:K) uygulanan grupta saptanmıştır.

Anahtar kelimeler: Agar, antioksidan, büyüme hızı, *Gracilaria verrucosa*, pigment.

Effect of Photoperiod Applications on Biomass Yield and Chemical Composition of Red Algae *Gracilaria verrucosa*

Abstract: In this study, the changes in the growth rate and chemical content of algal extracts from *Gracilaria verrucosa* (Hudson) were examined under Papenfuss tank culture systems with 100 μmol photon $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ light intensity and different photo periods (24:00, 16:08, 12:12 and 08:16 (Light (L): Dark (D))). As a result of the study, the highest growth rate among the experimental groups was found in the 16:8 (L:D) photoperiod group. The chlorophyll *a* content of the groups decreased as the illumination time increased, while phycocyanin and phycoerythrin contents decreased as the growth rate increased. The crude protein content of the groups varied between 9.14±0.13 (24:24) and 10.92±0.25 (12:12). Fat content of all groups was found to be less than 1%. There was no statistically significant difference in the ash content of algae thallus ($p>0.05$). The agar contents of the experimental groups varied between %8.36±0.24-13.19±1.09. The highest agar content was found in the group treated with the 8:16 photoperiod. As a result of the study, it was determined that high light intensity and long illumination durations increase the free radical scavenging activity of algae. The total phenolic content of the experimental groups varied between 1.82±0.03 (8:16) and 2.84±0.04 (24:24) mg GAE g^{-1} extract. The highest total flavonoid content was found in the 8:16 (L:D) group.

*Corresponding author:

İlknur AK

Çanakkale Onsekiz Mart University, Faculty of Marine Sciences and Technology, Terzioğlu Campus, 17100 center/Çanakkale, Türkiye

✉: ilknurak@comu.edu.tr

Keywords: Agar, antioxidant, *Gracilaria verrucosa*, growth rate, pigment.

GİRİŞ

Sucul ekosistemin önemli canlılarından olan makro algler, içerdikleri önemli kimyasal bileşenler ve gıda, ziraat, eczacılık ve enerji gibi farklı endüstriyel alanda kullanılması nedeniyle dünya genelinde yetiştiriciliği yapılan fotosentetik organizmalar arasında yer almaktadır. Gıda endüstrisi tarafından ticari kullanımlarına ek olarak, antibakteriyel, antioksidan, anti-tümör ve diğer özelliklere sahip peptitler, yağ asitleri ve polifenoller gibi birçok başka biyoaktif bileşiği de üretirler (Ak & Türker 2018, 2019). Makro alglerin dünya genelinde yaklaşık 291 türünün yetiştiriciliği yapılmaktadır ve 2019 yılı itibarıyla 34,5 milyar tonun üzerinde makro alg doğadan ve yetiştiricilik yoluyla elde edilmiş olup gerçekleştirilen bu üretimin toplam ekonomik değeri ise 14,7 milyar USD'dir. 2025 yılında bu miktarın 30 milyar USD'ye ulaşacağı öngörülmektedir (FAO, 2021). Ülkemizin çok hızlı büyüyen bu pazarda yer alabilmesi kıyılarımızda dağılım gösteren makro alglerin yetiştiricilik tekniklerinin ortaya çıkarılmasına bağlıdır. Böylelikle hem doğal stoklar korunmuş olacak hem de algin endüstriyel kullanımına yönelik yapılan çalışmaların artmasıyla ham madde sağlanmış olacaktır.

Dünya genelinde ekonomik önem sahip makro alglerin karasal sistemlerde yetiştiriciliğine yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Ancak bu çalışmalarda karşılaşılan sorunlardan en önemlisi alglerin uygun ışık rejiminin belirlenmesidir (Ak & Yücesan, 2012). Enerji kaynağı olan ışık, organizmaların sürekli değişen koşullara uyum sağlamasını sağlar. Işığın süresi ve şiddetinde meydana gelen değişimlere karşı alglerin başta pigment içerikleri olmak üzere kimyasal içeriklerinde de değişimler meydana gelir ve böylelikle ortam koşullarına adapte olurlar (Falkowski & LaRoche, 1991; Ak & Yücesan, 2012; Öztaşkent ve Ak, 2021; Ak vd., 2022). Işık ayrıca alglerin üreme süreçlerini kontrol etmek için çevresel bir faktör olarak da kullanılabilir (Falkowski & LaRoche, 1991; Kim vd., 2015; Fethi & Ghedifa, 2019). Fotoperiyot makro alglerin günlük ritimlerini kontrol eden moleküler saatlerle ilişkilidir ve kırmızı, kahverengi ve yeşil alglerde üreme organlarının uyarılmasında kendini gösterir (Lüning, 2005). Broch & Slagstad (2012), fotoperiyodun *Saccharina latissima* büyümesi üzerinde besin konsantrasyonundan daha büyük bir etkiye sahip olduğunu bildirmiştir.

Dünyada bu derece yoğun kullanıma sahip alg gruplarının ülkemizde yeterince ilgi görmemesi ve araştırmaların sınırlı alanda kalması bu çalışmanın temelini oluşturmakla birlikte farklı ışık yoğunlukları denemeleri ile en uygun yöntem belirlenerek endüstriyel üretime katkı sunulmaya çalışılmıştır. Bu kapsamda ekonomik öneme sahip kırmızı alglerden *Gracilaria verrucosa*'nın büyüme hızı, biyomas verimi, besin içerikleri (ham protein tayini, ham yağ tayini, ham kül tayini, karbonhidrat tayini), DPPH

serbest radikali giderim aktivitesi, toplam fenolik, toplam flavonoid, agar ve pigment içerikleri üzere farklı fotoperiyot sürelerinin (24:00, 16:08, 12:12 ve 08:16 (A:K)) etkisi belirlenmiştir.

MATERYAL VE METOT

Alg Örneklerinin Temin Edilmesi: Kırmızı alg *Gracilaria verrucosa* (Hudson) Papenfuss ana malzeme olarak kullanılmıştır. Bu kapsamda ÇOMÜ Dardanos Deniz Canlıları Uygulama ve Araştırma Merkezinde bulunan algin stok kültürleri kullanılmıştır. 100 litrelik tanklarda gerçekleştirilen denemelerde deneme gruplarının ışık şiddeti 100 $\mu\text{mol foton m}^{-2}\text{s}^{-1}$ olarak ayarlanmıştır.

Denemeler süresince F/2 ortamı kullanılmıştır (Guillard, 1975). Denemeler süresince sistemin suyu haftada bir değiştirilmiştir. Denemelerde alg talluslarının ve besin ortamının su kolonunda homojen olarak dağılması amacıyla havalandırma uygulanmıştır. Deneme gruplarının ışık şiddeti ve Aydınlık (A) ve Karanlık (K) periyodları (A:K) Tablo 1'de gösterilmiştir. Tüm denemeler üç tekrarlı olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Denemeler 10 hafta sürmüştür.

Tablo 1. Deneme grupları.

Table 1. Trial groups.

Deneme Grupları	Işık Şiddeti ($\mu\text{mol foton m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Fotoperiyod (A:K) (saat)
D1	100	24:24
D2	100	16:8
D3	100	12:12
D4	100	8:16

Ortalama büyüme hızı: Günlük büyüme hızı tallusların ağırlıkları alınarak hesaplanmıştır. Ağırlıklar her 5 günde bir ölçülmüştür. Ortalama büyüme hızı Troell vd., (1997)'ne göre belirlenmiştir.

Pigment maddesi analizleri: Deneme gruplarının pigment içeriğinin belirlenmesi için dört günde bir, alınan örnekler %90'lık aseton çözeltisi içinde buzdolabında karanlık ortamda 24 saat bekletilmiştir. Daha sonra deniz kumuyla öğütülen talluslar membran filtrasyon yöntemiyle süzölmüştür. Süzöntü 1500 rpm'de 5 dakika santifirüj edilmiş ve örneklerin pigment içerikleri Jeffrey & Humphrey (1975) denklemine göre belirlenmiştir.

Besin Analizi İçerikleri: Ham kül tayini AOAC (2000) yöntemine göre saptanmıştır. Ham yağ tayini için toplam yağ içeriği Folch vd., (1957) yöntemi ile belirlenmiştir. Protein içerikleri Kjeldahl metoduyla belirlenmiştir. Örneklerdeki protein miktarı yüzde olarak hesaplanmıştır (AOAC, 2000).

Antioksidan aktivitenin belirlenmesi: DPPH serbest radikal giderim aktivitesi, Brand-Williams vd., (1995)'e göre yapılmıştır. Örneklerin 2, 2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) serbest radikal giderim aktivitesi aşağıda verilen denkleme göre hesaplanmıştır.

DPPH giderim aktivitesi (%) = [(Akontrol-Aörnek)/Akontrol]*100

Aörnek : Örneğin absorbanı, Akontrol: Kontrolün absorbanı

Toplam DPPH radikallerinin %50'sini inhibe eden bileşiklerin konsantrasyonu (IC₅₀ inhibisyon değeri) nonlinear regresyon ile hesaplanmıştır. Butillenmiş hidroksitolüen (BHT) pozitif kontrol olarak kullanılmıştır.

Toplam fenolik, Toplam flavonoid ve Kondansetanen içeriklerinin belirlenmesi: Toplam fenol miktarı Djeridane vd., (2006)'nin Folin-Ciocalteu reaktif yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen veriler Gallik asit eşdeğeri (mg GAE g⁻¹ ekstrakt) olarak verilmiştir. Toplam flavonoid içeriği Quettier-Deleu vd., (2000)'e göre ölçülmüştür. Örneklerin flavonoid içerikleri rutin eşdeğeri olarak (mg rutin g⁻¹ ekstrakt) hesaplanmıştır. Kondansetanen içeriği Price vd., (1978)'ne göre yapılmıştır. Sonuçlar örnek gramı başına mikrogram kateşin eşdeğeri (CE) (µg CE g⁻¹) olarak ifade edilmiştir.

Agar ekstraksiyonu ve Özelliklerinin Belirlenmesi: Agar ekstraksiyonu Cirik vd., (2010)'ne göre belirlenmiştir. Agar jelleşme sıcaklığı tayini; Percival & Young (1974)'in önerdiği metoda göre yapılmıştır. Agar jel erime sıcaklığı ise ; Percival & Young (1974)'in önerdiği metoda göre yapılmıştır.

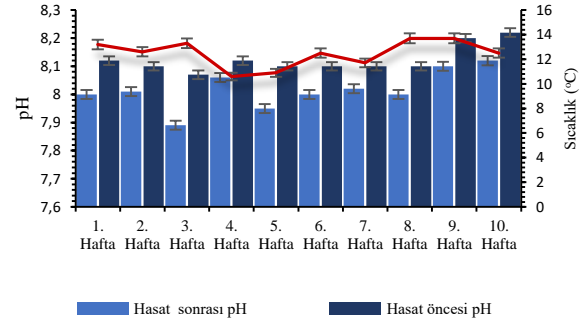
İstatistiksel Analizler: Veriler tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ile analiz edilmiş olup farklar p ≤0.05 olduğunda anlamlı kabul edilmiştir. Varyans analizinden önce, tüm veriler, PASW STATISTICS 19 yazılımı (IBM SPSS Inc., Chicago, IL) kullanılarak varyans homojenliği (Levene'nin eşit varyanslar için testi) ve normal dağılım (Anderson-Darling testi) açısından incelenmiştir.

BULGULAR

Farklı ışık şiddetleri ve farklı foto periyot uygulamalarının *Gracilaria verrucosa*'nın büyüme hızı ve kimyasal içeriğine olan etkilerinin araştırıldığı çalışma 10 hafta sürmüştür. Denemeler süresince su sıcaklıklarında ve pH'da meydana gelen değişimler Şekil 1'de gösterilmiştir. Denemeler süresince sıcaklık 10,6 – 13,7°C arasında değişim göstermiştir. Tanklardaki pH değerleri ise 7,89-8,22 arasında değişim göstermiştir.

Kırmızı alglerden *Gracilaria* türleri tek yıllık alglerden olup 10-20°C arasında değiştiği su sıcaklıklarında dağılım gösterirler (Cirik & Cirik 2017). Optimum büyüme 12-16 °C arasında gerçekleşmektedir (Koru vd., 2008, Ak vd., 2011) ve bizim çalışmamız bu çalışmaların bulgularıyla uyumludur. *Gracilaria* türleri için optimum pH aralığı 7,5 – 8,5'tir (Fethi & Ghedifa, 2019). Denemeler sürecince pH değerlerinde meydana gelen değişimler *Gracilaria* türlerinin dağılım gösterdiği pH aralığında olduğu belirlenmiştir. Denemeler süresince tuzluluk değerleri sabit olup %34 olarak ölçülmüştür. *Gracilaria* türleri %25 – 40 tuzluluk

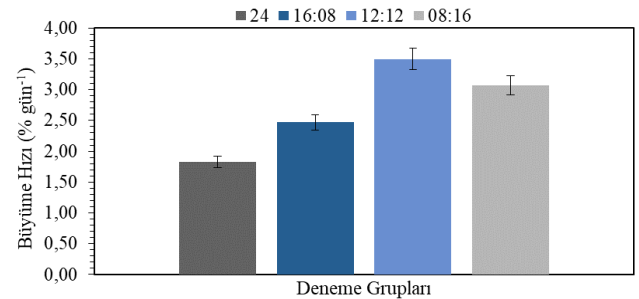
değerleri arasında optimum büyüme hızına sahip olduğu Fethi & Ghedifa (2019) tarafından bildirilmiştir.



Şekil 1. Denemeler süresince sıcaklık ve pH değerlerinde meydana gelen değişimler.

Figure 1. Changes in temperature and pH values during the trials.

Algin spesifik büyüme hızına dört farklı fotoperiyotun etkisi Şekil 1'de gösterilmiştir. Deneme gruplarının spesifik büyüme hızları % 1,20 (D₁)–5,28 (D₁₁) gün⁻¹ arasında değişim göstermiştir (p<0,05). 100 µmol foton m⁻²s⁻¹ şiddeti uygulanan gruplarda en yüksek spesifik büyüme hızları 12:12 (A:K) fotoperiyot uygulanan gruplarda olduğu belirlenmiştir (p<0,05). Hanisak (1987), *G. tikvahiae* için optimum ışık yoğunluğunun yaklaşık 100 µEm⁻² s⁻¹ olduğunu ve büyüme hızının ışık yoğunluğu ile ilişkili olduğunu bildirmiştir. Işık yoğunluğundaki artış fotosentez hızını ve buna bağlı ortamdaki inorganik besin tuzlarının da kullanımını artırarak büyüme hızının artmasına neden olur (Hurd vd., 2014). Büyüme hızında elde edilen sonuçlar Weinberger vd., (2008), Bunsom & Prathep (2012), Fethi & Ghedifa (2019) ile benzerlik göstermektedir. Kim vd., (2006) *Chondrus ocellatus*'un en yüksek büyüme hızı 12:12 A:K uygulanan grupta saptamışlardır. Zhang vd., (2020) *Gloiopeltis furcata* türünün en yüksek büyüme hızının 14 saat aydınlatmaya maruz kalan gruplarda olduğunu bildirmiştir.



Şekil 2. Spesifik büyüme hızlarında meydana gelen değişimler.

Figure 2. Changes in specific growth rates.

Kırmızı alglerde fikoeritrin ve klorofil *a* fotosentezde aktif olarak rol aldıkları için önemli pigment maddeleridir. Deneme sonunda algler hasat edilerek pigment içerikleri arasındaki farklılıklar belirlenmiş olup Tablo 2'de gösterilmiştir. Deneme gruplarının klorofil *a* içerikleri

3,93±0,04 (D₀) ile 7,42±0,04 (D₄) mg g⁻¹ ka (kuru ağırlık) arasında değişim göstermiştir (p<0,05). Bu çalışmada, tüm ışık şiddetlerinde 8:16 (A:K) foto periyotlarında yetiştirilen tallusların klorofil *a* içeriklerinin diğer gruplardan daha yüksek olduğu belirlenmiştir (p<0,05). Bu durumun aydınlatma süresinin azalmasıyla kloroplast içerisinde yer alan fotosistem II reaksiyon sayısında bir artış ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir (Wu, 2016). Elde edilen sonuçlar *Gracilaria lemaneiformis*, *Laminaria saccharina* ve *Hizikia fusiformis* türleri için de bildirilmiştir (Machalek vd., 1996, Wu vd., 2016). Toplam karoten içeriklerinin ise aydınlatma süresi azaldıkça arttığı gözlemlenmiştir. Işık şiddeti ve aydınlatma süresi arttıkça toplam karoten içeriklerinin artması foto oksidasyonu önlemek için alglerin uyum stratejisidir (Ak & Yücesan, 2012). Lakshminarayana vd., (2022), bazı karotenlerin reaktif oksijen türevlerinin hasarının engelleyen antioksidan özellik gösterdiğini ve foto oksidatif hasara karşı alglerin korunmasına güçlü bir şekilde katkıda bulunduğunu bildirmiştir. Bu nedenle foto oksidatif stresi azaltmak amacıyla D₁'de toplam karoten içeriğinin en yüksek olduğu düşünülmektedir. Deneme gruplarının fikoeritrin içerikleri ise 0,07±0,01 (D₂) ile 0,29±0,02 (D₄) mg g⁻¹ ka arasında saptanmıştır (p<0,05). Aydınlatma sürelerinin artmasıyla tallusların klorofil *a*, toplam karoten ve fikoeritrin içeriklerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Ak & Yücesan (2012) benzer sonuçları bildirmiştir. Fikoeritrin seviyelerindeki bu artış, ışık miktarının neden olduğu oksidatif stresin azaltılmasında antioksidan özelliklerinden dolayı bu pigment maddesinin rol oynamasıdır (Rodríguez-Sánchez vd., 2012). Azot içeriği yüksek ortamlarda yetiştirilen tallusların fikobiliprotein içeriklerinin yüksek olduğu ve azotun sınırlandırıldığı koşullar altında azot kaynağı

olarak işlev gördüğü Hurd vd., (2014) tarafından bildirilmiştir.

Farklı foto periyot uygulanan deneme gruplarının ham protein, ham yağ ve kül miktarlarında meydana gelen değişimler Tablo 3'de gösterilmiştir. Grupların ham protein içerikleri arasında istatistiksel olarak farklılıkların olduğu belirlenmiştir (p<0,05). 24 saat aydınlık uygulanan grubun (D₁) protein içeriklerinin foto periyot uygulanan diğer gruplardan daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Briggs & Smith (1993) *Gracilaria* türlerindeki ham protein içeriklerinin %7 ile 13 arasında olduğunu bildirmiştir. Sonuçlarımız bu çalışma ile benzerlik göstermektedir. Her üç ışık şiddetinde 24:0 (A:K) foto periyot uygulanan gruplarda ham protein içeriği diğer foto periyot uygulanan gruplardan yüksek bulunmuştur. Bunun nedeninin hızlı büyüme sırasında karbonhidrat kullanılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü alglerde polisakkaritlerin sentezi, protein sentezi lehine sınırlıdır (Marinho-Soriano vd., 2006, Ak vd., 2011).

Deneme gruplarının ham yağ içerikleri 0,44±0,03 (D₁₁) ile 0,95±0,04 (D₁) arasında değişim göstermektedir. Genel olarak, makro alglerin ham yağ içerikleri mikro algere göre daha düşüktür. Ayrıca, makro alglerin yağ içerikleri diğer biyokimyasal bileşenlerine oranla çok az miktarda bulunur (Hurd vd., 2014). Kırmızı alglerden *Gracilaria* türlerinin yağ içerikleri üzerine yapılmış önceki çalışmalarda türün yağ içeriğinin %0,28-%3,7 arasında değişim gösterdiği bildirilmiştir (Marinho-Soriano vd., 2006, Cirik vd., 2010, Ak vd., 2011). En yüksek ham yağ içeriği 50 µmol foton m⁻²s⁻¹ ışık şiddeti ve 24:0 fotoperiyot uygulanan grupta saptanmıştır.

Tablo 2. Deneme gruplarının pigment içeriklerinde meydana gelen değişimler.

Table 2. Changes in the pigment content of the groups.

Gruplar	Klorofil <i>a</i> (mg g ⁻¹ ka)	Toplam Karoten (mg g ⁻¹ ka)	Fikoeritrin (mg g ⁻¹ ka)	Fikosiyanin (µg g ⁻¹ ka)
D1	4,69±0,04 ^f	1,65±0,05 ^b	0,12±0,01 ^c	5,7±0,21 ^f
D2	5,44±0,06 ^e	1,35±0,04 ^{de}	0,07±0,01 ^d	1,29±0,09 ^b
D3	5,91±0,07 ^c	1,24±0,01 ^e	0,15±0,02 ^c	13,17±0,07 ^b
D4	6,58±0,11 ^b	1,14±0,06 ^f	0,29±0,03 ^a	11,64±0,16 ^c

Değerler ortalama ± standart hata olarak ifade edilmiştir. Aynı satırda farklı harflere sahip üst simgeler, p ≤ 0,05'te önemli istatistiksel farklılıkları (a-f) göstermektedir.

Tablo 3. Deneme gruplarının ham protein (%), ham yağ (%) ve kül (%) içeriklerinde meydana gelen değişimler.

Table 3. Changes in crude protein (%), total lipid (%) and ash (%) contents of the groups.

Gruplar	Ham protein (%)	Ham yağ (%)	Kül (%)
D1	9,14±0,13 ^e	0,71±0,03 ^c	14,17±0,79 ^a
D2	9,34±0,52 ^d	0,59±0,06 ^e	13,57±0,45 ^a
D3	10,92±0,25 ^b	0,56±0,01 ^f	13,33±0,51 ^a
D4	9,79±0,07 ^c	0,58±0,01 ^e	13,10±0,44 ^a

Değerler ortalama ± standart hata olarak ifade edilmiştir. Aynı satırda farklı harflere sahip üst simgeler, p ≤ 0,05'te önemli istatistiksel farklılıkları (a-e) göstermektedir.

Aydınlatma süreleri azaldıkça *G. verrucosa* talluslarının yağ içeriklerinin de azaldığı tespit edilmiştir. Bu bağlamda, Falkowski & LaRoche (1991), yüksek ışık şiddetlerinde yetiştirilen alglerin düşük ışık şiddetlerinde yetiştirildiğinde bir enerji krizine maruz kaldıklarını ve makro molekül biyosentezini yağlar ve karbonhidratlardan

proteinlere yönlendirerek uyum sağlayabileceklerini bildirmişlerdir.

Deneme gruplarının kül içeriklerinde meydana gelen değişimler Tablo 3'de gösterilmiştir. Grupların kül içerikleri %13,10±0,44 ile %14,17±0,79 arasında değişim göstermiştir. Genel olarak, kül miktarı algin toplam mineral içeriğini belirlemektedir ve kül miktarı algin

bulunduğu ortam koşullarına göre farklılık gösterir. Çalışma sonucunda elde edilen değerler *Gracilaria* türleri için belirtilen aralık içerisinde (Marinho-Soriano vd., 2006, Cirik vd., 2010, Ak vd., 2011).

Denemeler sonucunda hasat edilen biyomasların agar içerikleri de proje kapsamında çalışılmıştır. Deneme gruplarının agar içerikleri %5,64-13,19 arasında değişim göstermiştir (Tablo 4). En yüksek agar içeriği 8:16 foto periyot uygulanan grupta saptanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Fethi & Ghedifa (2019), Mensi (2019) ile benzerlik göstermektedir. Deneme gruplarının düşük agar içerikleri 8 saat ışık uygulanan gruplarda saptanırken aydınlatma süresi kısaltıkça agar içeriğinde artışın olduğu görülmektedir.

Tablo 4. Deneme gruplarının agar (%), agar jel erime ve jelleşme sıcaklıklarında (°C) meydana gelen değişimler.

Table 4. Changes in the experimental groups' agar (%), agar gel melting and gelling temperatures (°C).

Gruplar	Agar (%)	Jelleşme Sıcaklığı (°C)	Jel Erime Sıcaklığı (°C)
D1	8,36±0,24 ^{cd}	45,00±0,99 ^{ab}	75,00±1,13 ^e
D2	5,64±0,47 ^e	42,00±0,28 ^b	75,00±0,56 ^e
D3	6,67±0,37 ^{de}	40,00±0,99 ^c	75,00±1,13 ^e
D4	13,19±1,09 ^b	47,00±0,85 ^a	73,00±0,99 ^f

Değerler ortalama ± standart hata olarak ifade edilmiştir. Aynı satırda farklı harflere sahip üst simgeler, p ≤0,05'te önemli istatistiksel farklılıkları (a-f) göstermektedir.

Çalışma sonucunda farklı foto periyot uygulamalarının *G. verrucosa*'dan elde edilen ağarın jel erime ve jelleşme sıcaklıklarına etki ettiği belirlenmiştir. *Gracilaria* türüne ve yetiştiricilik koşullarına göre jelleşme ve jel erime sıcaklıkları farklılık göstermektedir. Deneme gruplarının jelleşme sıcaklığı 40,00±0,99°C ile 47,00±0,85°C arasında değişim göstermekte olup deneme grupları arasında önemli farklılıklar saptanmıştır (p>0,05). Jelleşme sıcaklığı *G. gracilis* için 31,7-35,4°C, *G. tenuistipitata* için 35,4-44,7°C, *G.bursa-pastoris* için 34-46°C ve *G. verrucosa* için 34,00-36,00°C olarak bulunmuştur (Marinho-Soriano & Bourret 2003, Cirik vd., 2010, Wang vd., 2017). Deneme gruplarının jel erime sıcaklıkları ise 73,00±0,99-75,00±0,00°C arasında değişim göstermiştir. Farklı *Gracilaria* türlerinin jel erime sıcaklıkları ise *G. gracilis* için 78,5-82,1°C, *G. tenuistipitata* için 98,9-99,8°C, ve *G. verrucosa* için 85,50–86,50°C olarak saptanmıştır (Cirik vd., 2010, Wang vd., 2017.). Sonuçlarımız önceki çalışmalarla benzerlik göstermektedir.

Deneme gruplarının toplam fenolik, toplam flavonoid ve kondense tanen içeriklerinde meydana gelen değişimler Tablo 5'de özetlenmiştir. Deneme gruplarının toplam fenolik madde içerikleri ile 2,75±0,06 (D₃) ile 2,84±0,04 (D₁) mg GAE g⁻¹ ekstrakt arasında değişim göstermiştir. Fenolikler, bitkilerde, meyvelerde, şarap, çay ve kahve gibi içeceklerde ve ayrıca sebzelerde bulunan bir veya daha fazla hidroksil grubu içeren ikincil metabolitlerdir. Fenolik maddeler reaktif oksijen türleri (ROT), temizleyiciler, metal şelatörler, enzim modülatörleri gibi davranabilir ve lipid peroksidasyonunu

önleyebilir. Yüksek ışık şiddeti veya uzun süreli aydınlatma makro algler için stres oluştururlar ancak makro algler bu oksidasyon koşullarına karşı stabildirler (Tanna vd., 2022).

Tablo 5. Deneme gruplarının toplam fenolik, flavonoid ve kondense tanen içeriklerinde meydana gelen değişimler.

Table 5. Changes in the total phenolic, flavonoid and condensed tannin contents of the experimental groups.

Gruplar	Toplam Fenolik madde (mg GAE g ⁻¹ ekstrakt)	Toplam Flavonoid madde (mg rutin g ⁻¹ ekstrakt)	Kondense Tanen (µg CE g ⁻¹ ekstrakt)
D1	2,84±0,04 ^{ab}	1,84±0,13 ^a	2,54±0,05 ^b
D2	2,78±0,08 ^{ab}	1,86±0,13 ^a	2,54±0,24 ^b
D3	2,75±0,06 ^b	1,75±0,12 ^a	2,54±0,06 ^b
D4	2,93±0,06 ^a	1,82±0,03 ^a	2,31±0,15 ^{bc}

Değerler ortalama ± standart hata olarak ifade edilmiştir. Aynı satırda farklı harflere sahip üst simgeler, p ≤0,05'te önemli istatistiksel farklılıkları (a-c) göstermektedir.

100 µmol foton ışık şiddeti ve dört farklı foto periyodun uygulandığı proje çalışması sonucunda deneme gruplarının toplam flavonoid içeriklerinin birbirine yakın olduğu saptanmıştır. Işık şiddetlerinin ve foto periyot uygulamalarının algin flavonoid içeriklerinin değişiminde önemli bir oynamadığı düşünülmektedir. Deneme gruplarının kondense tanen içeriklerinde meydana gelen değişimler Tablo 5'de gösterilmiştir. Çalışma sonucunda *G. verrucosa*'nın kondense tanen içeriklerinin yüksek olduğu görülmüştür. Makro alglerde bulunan bir diğer bileşik tanenlerdir. Alg grupları arasında en fazla kahverengi makro alglerde bulunsun da diğer makro alg sınıfları da tanen içermektedirler. 100 µmol foton ve farklı foto periyot uygulamalarında yetiştirilen *G. verrucosa* talluslarının serbest radikal giderim aktivitelerinin inhibisyon yüzdeleri ve IC50 inhibisyon değerleri Tablo 6'de özetlenmiştir. En yüksek inhibisyon yüzdesi D₁ (24:00) belirlenmiştir. Deneme gruplarının serbest radikal giderim aktivitelerinin inhibisyon yüzdeleri sentetik antioksidan olan BHT'den düşük olmasına karşın gruplar arasında istatistiksel farklılıkların olduğu saptanmıştır (p<0,05). Sürekli aydınlatmanın stres oluşturduğu düşünülmektedir.

Tablo 6. Deneme gruplarının serbest radikal giderim aktivitelerinin inhibisyon yüzdeleri ve IC50 inhibisyon değerlerinde meydana gelen değişimler.

Table 6. Inhibition percentages of free radical scavenging activities of experimental groups and changes in IC50 inhibition values.

Gruplar	% İnhibisyon	IC ₅₀ İnhibisyon değeri (mg g ⁻¹ ekstrakt)
D1	32,00±0,50 ^b	10,79±0,96 ^b
D2	26,00±0,50 ^{de}	11,47±0,70 ^{ab}
D3	23,00±0,99 ^f	12,93±0,38 ^a
D4	22,20±0,14 ^b	5,11±0,02 ^c
BHT	99,80±0,14 ^a	1,35±0,04 ^d

Değerler ortalama ± standart hata olarak ifade edilmiştir. Aynı satırda farklı harflere sahip üst simgeler, p ≤0,05'te önemli istatistiksel farklılıkları (a-h) göstermektedir.

SONUÇ

Bu çalışma kapsamında farklı aydınlatma süreleri uygulanarak *Gracilaria verrucosa*'nın tank sistemlerinde yetiştiriciliği gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak algin büyüme

hızının ve kimyasal kompozisyonunun 100 µmol foton ışık şiddetinde fotoperiyota göre farklılık gösterdiği saptanmıştır. Kırmızı alglerden *G. verrucosa*'nın yüksek ışık şiddeti ve uzun aydınlatma süresinin algin büyümesini baskıladığı ve strese bağlı olarak serbest radikal temizleme kapasitesinin arttığı çalışma sonucunda belirlenmiştir. Aynı şekilde uzun aydınlatma sürelerinin algin toplam fenolik madde içeriği üzerine pozitif etkisi olduğu proje sonucunda bulunmuştur. Ancak, algin agar içeriğini arttırmak amacıyla 8:16 (A:K) fotoperiyot rejiminin uygun olacağı da çalışma sonucunda saptanmıştır. *G. verrucosa*'dan istenilen kimyasal bileşiği arttırmak için farklı aydınlatma periyotlarının uygulanması gerektiği çalışma sonucunda belirlenmiştir. Elde edilen sonuçların *Gracilaria* türlerinin yetiştiriciliği ve antioksidan özellik gösteren bileşikleriyle ilgili çalışma yapan araştırmacılara ve sektöre yardımcı olacağı düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon birimi tarafından FHD-2021-3677 proje numaralı ve "Kırmızı Alglerden *Gracilaria verrucosa*'nın Biyomas Verimi ve Kimyasal Kompozisyonu Üzerine Işık Şiddeti ve Fotoperiyot Uygulamalarının Etkisinin Belirlenmesi" başlıklı proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Ak, İ., Çetin, Z., Cirik, Ş. & Göksan, T. (2011).** *Gracilaria verrucosa* (Hudson) Papenfuss culture using an agricultural organic fertilizer. *Fresenius Environmental Bulletin*, **20**(8a), 2156-2162.
- Ak, İ., Çankırılıgil, E.C., Türker, G., Sever, O. & Abomohra, A. (2022).** Enhancement of antioxidant properties of *Gongolaria barbata* (Phaeophyceae) by optimization of combined light intensity and salinity stress. *Phcologia*, **61**(6), 584-594. DOI: [10.1080/00318884.2022.2099136](https://doi.org/10.1080/00318884.2022.2099136)
- Ak, İ. & Türker, G. (2018).** Antioxidant Activity of Five Seaweed Extracts. *New Knowledge Journal of Science / Novo Znanie*, **7**(2), 149-155.
- Ak, İ. & Türker, G. (2019).** Free Radical Scavenging Activity and Biochemical characteristics of *Ulva rigida* (Ulvophyceae) and *Arthrospira platensis* (Cyanophyceae). *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, **7**, 145-149. DOI: [10.24925/turjaf.v7isp1.145-149.2789](https://doi.org/10.24925/turjaf.v7isp1.145-149.2789)
- Ak, İ. & Yücesan, M. (2012).** Effect of light intensity on the pigment composition of *Gracilaria verrucosa* (Rhodophyta). *Fresenius Environmental Bulletin*, **21**(2), 337-342.

- AOAC. (2000).** Official methods of analysis of AOAC (Association of Official Analytical Chemists) International (17th ed.), AOAC International, Gaithersburg, MD, 1298.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E. & Berset, C. (1995).** Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, **28**(1), 25-30. DOI: [10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Briggs, M. & Smith, S. (1993).** Macroalgae in aquaculture: An overview and their possible roles in shrimp culture. *Proceedings of a conference on marine biotechnology in the Asia Pacific Bangkok, Thailand*. 137-143p.
- Broch, O.J. & Slagstad, D. (2012).** Modelling seasonal growth and composition of the kelp *Saccharina latissima*. *Journal of Applied Phycology*, **24**, 759-776.
- Bunsom, C. & Prathep, A. (2012).** Effects of salinity, light intensity and sediment on growth, pigments, agar production and reproduction in *Gracilaria tenuistipitata* from Songkhla Lagoon in Thailand. *Phycological Research*, **60**(3), 169-178. DOI: [10.1111/j.1440-1835.2012.00648.x](https://doi.org/10.1111/j.1440-1835.2012.00648.x)
- Cirik, Ş. & Cirik, S. (2017).** *Su Bitkileri* (Deniz bitkilerinin biyolojisi, ekolojisi, yetiştirme teknikleri). *İzmir, Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları*. 15-47p.
- Cirik, Ş., Şen, E. & Ak, İ. (2010).** Brown algae *Cystoseira barbata* (Stackhouse) C. Agardh culture and changes in it chemical composition. *Journal of fisheriessciences.com*, **4**(4), 354-361. DOI: [10.3153/jfsc.com.2010038](https://doi.org/10.3153/jfsc.com.2010038)
- Djeridane, A., Yousfi, M., Nadjemi, B., Boutassouna, D., Stocker, P. & Vidal, N. (2006).** Antioxidant activity of some algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds. *Food Chemistry*, **97**(4), 654-660. DOI: [10.1016/j.foodchem.2005.04.028](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.04.028)
- Falkowski, P.G. & LaRoche, J. (1991).** Acclimation to Spectral Irradiance in Algae. *Journal of Phycology*, **27**(1), 8-14. DOI: [10.1111/j.0022-3646.1991.00008.x](https://doi.org/10.1111/j.0022-3646.1991.00008.x)
- FAO. (2021).** The State of World Fisheries and Aquaculture 2019. Sustainability in action *FAO Fisheries and Aquaculture Department*, Rome, 224p.
- Fethi, M. & Ghedifa, A.B. (2019).** Optimum ranges of combined abiotic factor for *Gracilaria gracilis* aquaculture. *Journal of Applied Phycology*, **31**(5), 3025-3040. <https://doi.org/10.1007/s10811-019-01826-5>

- Folch, J., Lees, M. & Sloane Stanley, G.H. (1957).** A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*, **226**(1), 497-509.
- Guillard, R.R.L. (1975).** Culture of Phytoplankton for Feeding Marine Invertebrates. In: Smith, W.L., Chanley, M.H. (Ed), *Culture of Marine Invertebrate Animals*. Springer, Boston, 29-60p.
- Hanisak, M.D. (1987).** Cultivation of *Gracilaria* and other macroalgae in Florida for energy production. In Bird, K.T., Benson, P.H. (Ed), *Seaweed Cultivation for Renewable Resources*. Elsevier, Amsterdam, 191-218p.
- Hurd, C.L., Harrison, P.J., Bischof, K. & Lobban, C. S. (2014).** Seaweed Ecology and Physiology. Cambridge, Cambridge University Press.15-215p.
- Jeffrey, S.W. & Humphrey, G.F. (1975).** New spectrophotometric equations for determining chlorophylls *a*, *b*, *c1* and *c2* in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochimie und Physiologie der Pflanzen*, **167**(2), 191-194. DOI: [10.1016/S0015-3796\(17\)30778-3](https://doi.org/10.1016/S0015-3796(17)30778-3)
- Kim, J. K., Mao, Y., Kraemer, G. & Yarish, C. (2015).** Growth and pigment content of *Gracilaria tikvahiae* McLachlan under fluorescent and LED lighting. *Aquaculture*, **436**, 52-57. DOI: [10.1016/j.aquaculture.2014.10.037](https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.10.037)
- Kim, Y.S., Choi, H.G. & Nam, K.W. (2006).** Phenology of *Chondrus ocellatus* in Cheongsapo near Busan, Korea. *Journal of Applied Phycology*, **18**, 551-556.
- Koru, E., Cirik, S., Turan, G., Ak, İ. & Başaran, A. (2008).** *Gracilaria verrucosa* (Hudson) Papenfuss Kültürüne Farklı Işık Yoğunluklarının Etkisi. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **25**(3), 187-190.
- Lakshminarayana, R., Vijay, K., Ambedkar, R., Ranga Rao, A. & Ravishankar, G.A. (2022).** Biological Activities and Health Benefits of Seaweed Carotenoids with Special Reference to Fucoxanthin. In: Ranga Rao, A., Ravishankar, G.A. (Ed), *Sustainable Global Resources of Seaweeds Volume 2*. Springer, Cham, 539-558p.
- Lüning, K. (2005).** Endogenous rhythms and day length effects in macroalgal development. In: Andersen, R.A. (Ed.). *Algal culturing techniques*. Elsevier Academic Press, San Diego, 347-364p.
- Machalek, K. M., Davison, I.R., & Falkowski, P. G. (1996).** Thermal acclimation and photoacclimation of photosynthesis in the brown alga *Laminaria saccharina*. *Plant, Cell & Environment*, **19**(9), 1005-1016. DOI: [10.1111/j.1365-3040.1996.tb00207.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1996.tb00207.x)
- Marinho-Soriano, E. & Bourret, E. (2003).** Effects of season on the yield and quality of agar from *Gracilaria* species (Gracilariaceae, Rhodophyta). *Bioresource Technology*, **90**(3), 329-333. DOI: [10.1016/s0960-8524\(03\)00112-3](https://doi.org/10.1016/s0960-8524(03)00112-3)
- Marinho-Soriano, E., Fonseca, P.C., Carneiro, M.A.A. & Moreira, W.S.C. (2006).** Seasonal variation in the chemical composition of two tropical seaweeds. *Bioresource Technology*, **97**(18), 2402-2406. DOI: [10.1016/j.biortech.2005.10.014](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.10.014)
- Mensi, F. (2019).** Agar yield from R-phycoerythrin extraction by-product of the red alga *Gracilaria verrucosa*. *Journal of Applied Phycology*, **31**(1), 741-751. DOI: [10.1007/s10811-018-1533-z](https://doi.org/10.1007/s10811-018-1533-z)
- Öztaşkent, C. & Ak, İ. (2021).** Effect of LED light sources on the growth and chemical composition of brown seaweed *Treptacantha barbata*. *Aquaculture International*, **29**(1), 193-205. DOI: [10.1007/s10499-020-00619-9](https://doi.org/10.1007/s10499-020-00619-9)
- Percival, E. & Young, M. (1974).** Carbohydrates of the brown seaweeds: Part III. *Desmarestia aculeata*. *Carbohydrate Research*, **32**(2), 195-201. DOI: [10.1016/S0008-6215\(00\)82097-2](https://doi.org/10.1016/S0008-6215(00)82097-2)
- Price, M.L., Van Scoyoc, S. & Butler, L.G. (1978).** A critical evaluation of the vanillin reaction as an assay for tannin in sorghum grain. *Journal of agricultural and food chemistry*, **26**(5), 1214-1218. DOI: [10.1021/jf60219a031](https://doi.org/10.1021/jf60219a031)
- Quettier-Deleu, C., Gressier, B., Vasseur, J., Dine, T., Brunet, C., Luyckx, M., Cazin, M., Cazin, J.-C., Bailleul, F. & Trotin, F. (2000).** Phenolic compounds and antioxidant activities of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) hulls and flour. *Journal of Ethnopharmacology*, **72**(1), 35-42. DOI: [10.1016/S0378-8741\(00\)00196-3](https://doi.org/10.1016/S0378-8741(00)00196-3)
- Rodríguez-Sánchez, R., Ortiz-Butrón, R., Blas-Valdivia, V., Hernández-García, A. & Cano-Europa, E. (2012).** Phycobiliproteins or c-phycoerythrin of *Arthrospira (Spirulina) maxima* protect against hgcl2-caused oxidative stress and renal damage. *Food Chemistry*, **135**(4), 2359-2365. DOI: [10.1016/j.foodchem.2012.07.063](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.07.063)
- Tanna, B., Choudhary, B., Mishra, A., Yadav, S., Chauhan, O.P., Elansary, H.O., Shokralla, S., Zin El-Abedin, T.K. & Mahmoud, E.A. (2022).** Biochemical and Anti-proliferative activities of seven abundant tropical red seaweeds confirm nutraceutical potential of *Grateloupia indica*. *Arabian Journal of Chemistry*, **15**(6), 103868. DOI: [10.1016/j.arabjc.2022.103868](https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2022.103868)

- Troell, M., Halling, C., Nilsson, A., Buschmann, A. H., Kautsky, N. & Kautsky, L. (1997).** Integrated marine cultivation of *Gracilaria chilensis* (Gracilariales, Rhodophyta) and salmon cages for reduced environmental impact and increased economic output. *Aquaculture*, **156**(1), 45-61. DOI: [10.1016/S0044-8486\(97\)00080-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00080-X)
- Wang, L., Shen, Z. Mu, H. Lin, Y. Zhang, J. & Jiang, X. (2017).** Impact of alkali pretreatment on yield, physico-chemical and gelling properties of high quality agar from *Gracilaria tenuistipitata*. *Food Hydrocolloids*, **70**, 356-362. DOI: [10.1016/j.foodhyd.2016.11.042](https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.11.042)
- Weinberger, F., Buchholz, B., Karez, R. & Wahl, M. (2008).** The invasive red alga *Gracilaria vermiculophylla* in the Baltic Sea: adaptation to brackish water may compensate for light limitation. *Aquatic Biology*, **3**(3), 251-264. DOI: [10.3354/ab00083](https://doi.org/10.3354/ab00083)
- Wu, H. (2016).** Effect of Different Light Qualities on Growth, Pigment Content, Chlorophyll Fluorescence, and Antioxidant Enzyme Activity in the Red Alga *Pyropia haitanensis* (Bangiales, Rhodophyta). *BioMed Research International*, **2016**, 7383918. DOI: [10.1155/2016/7383918](https://doi.org/10.1155/2016/7383918)
- Zhang, W., Zhu, C. & Chen, S. (2020).** Effects of light quality and photoperiod on growth and photosynthetic pigment content of a Rhodophyta, *Gloiopeltis furcata*. *Fisheries Science*, **86**(2), 367-373. DOI: [10.1007/s12562-020-01400-w](https://doi.org/10.1007/s12562-020-01400-w)