



Ultraviyole radyasyonunun istilacı *Grateloupia turuturu* üzerine fizyolojik etkileri

Gamze YILDIZ, Özden DERE

Cite this article as:

Yıldız, G., Dere, Ö. (2025). Ultraviyole radyasyonun istilacı *Grateloupia turuturu* üzerine fizyolojik etkileri. *Aquatic Research*, 8(2), 120-129. <https://doi.org/10.3153/AR25012>

Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Edebiyat
Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 16059,
Bursa, Türkiye

ORCID IDs of the author(s):

G.Y. 0000-0001-6461-0850

Ö.D. 0009-0005-6659-5988

Submitted: 24.12.2025

Revision requested: 05.03.2025

Last revision received: 05.03.2025

Accepted: 06.03.2025

Published online: 16.03.2025

Correspondence:

Gamze YILDIZ

E-mail: gamze@uludag.edu.tr



© 2025 The Author(s)

Available online at

<http://aquatres.scientificwebjournals.com>

ÖZ

İstilacı türler, antropolojik faaliyetler sonucunda bir ekosisteme giren organizmalardır. Bu türler yerleştikleri ortamdaki yerel türlerle rekabete girerek, ekolojik yapı üzerinde tehdit oluşturmakta ve biyoçeşitliliği değiştirebilmektedir. İstilacı bir tür olarak bilinen *Grateloupia turuturu* türü Türkiye'den ilk kez Mayıs 2015 tarihinde Bandırma kıyılarından rapor edilmiş ve günümüzde Erdek ve Mudanya kıyılarında da yayılış gösterdiği belirlenmiştir. Genel olarak istilacı türlerin ekolojik değişkenlere karşı geniş bir toleransa sahip olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada UVR'nin *G. turuturu* türü üzerine fizyolojik etkilerinin belirlenmesi ve *G. turuturu* türünün UVR'ye karşı cevaplarının araştırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla *G. turuturu* örnekleri 3 farklı ışık rejiminde (fotosentetik aktif radyasyon, UVA ve UVB) kültüre alınmış ve fizyolojik cevapları araştırılmıştır. Elde edilen veriler UVR'ye maruz kalan örneklerin fotosentetik etkinliğinde ve nitrat redüktaz enzim aktivitelerinde artış olduğunu, buna karşın aksesuar pigment içeriklerinin değişmediğini göstermiştir. Sonuç olarak, *G. turuturu* türünün UVA enerjisini fotosentezde ışık kaynağı olarak kullanabildiği, UVR'ye karşı hassas olmayıp toleranslı olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle *G. turuturu* türünün yerel türlerle rekabette avantajlı olabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Fotosentez, *Grateloupia*, İstilacı, Ultraviyole radyasyon

ABSTRACT

Physiological effects of ultraviolet radiation on invasive *Grateloupia turuturu*

Invasive species are organisms that enter an ecosystem as a result of anthropological activities. These species compete with native species in the environment where they settle, threatening the ecological structure and changing biodiversity. *Grateloupia turuturu*, known as an invasive species, was reported for the first time in May 2015 from the coast of Bandırma in Turkey and it was determined that it is now distributed in Erdek and Mudanya coasts. In general, invasive species are known to have a wide tolerance to ecological variables. Therefore, the aim of this study was to determine the physiological effects of UVR on *G. turuturu* species and to investigate the responses of *G. turuturu* species to UVR. For this purpose, *G. turuturu* samples were cultured in 3 different light regimes (photosynthetically active radiation, UVA and UVB) and their physiological responses were investigated. The data obtained showed that the photosynthetic activity and nitrate reductase enzyme activities of the samples exposed to UVR increased, whereas the accessory pigment content did not change. In conclusion, *G. turuturu* is able to utilize UVA energy as light sources in photosynthesis and is tolerant but not sensitive to UVR. Therefore, it is thought that *G. turuturu* may be advantageous in competition with local species.

Keywords: Photosynthesis, *Grateloupia*, Invasive, Ultraviolet radiation

Giriş

İstilacı türler, antropolojik faaliyetler sonucunda bir ekosisteme gelen ve yerleştikleri ortama hızla yayılan türleri ifade etmektedir (Sakai ve ark., 2001). Bu türler aynı çevrede yaşayan yerli türleri, çevreyi, insan sağlığını ve ekonomiyi olumsuz yönde etkilemektedir. Deniz ticareti ve taşımacılığının yoğun olduğu alanlara istilacı türlerin girişi ve yayılımı hızlanmaktadır. Türkiye kıyılarına çeşitli yollarla giriş yapan yaklaşık 539 yabancı deniz türü olduğu bilinmektedir (Çınar ve ark., 2021). Bunlar arasında *Galaxaura rugosa*, *Caulerpa taxifolia* gibi deniz yosunları da bulunmaktadır (Turan ve ark., 2011; Taşkın ve ark., 2017).

Kırmızı deniz yosunlarından olan *Grateloupia turuturu* Y. Yamada 1941 (Halimeniaceae) türü Japonya- Hokkaido kıyılarında doğal olarak yayılış göstermektedir (Yamada, 1941). Sonrasında Atlantik adaları, çeşitli Avrupa ülkeleri, Kuzey Amerika, Karayip Adaları, Batı Atlantik, Güney Amerika, Afrika ülkeleri, Avusturalya ve birçok Asya ülkesinden rapor edilmiştir (Guiry ve Guiry, 2024). Ayrıca, Amerika (Villalard-Bohnsack ve Harlin, 1997), Meksika (Miller ve ark., 2011), Portekiz (Barbara ve Cremades, 2004), Brezilya (de Azevedo ve ark., 2015), İspanya (Barbara ve Cremades, 2004), Fransa (Gouletquer ve ark., 2002), İngiltere (Farnham, 1980), İtalya (Tolomio, 1993) ve İsrail (Katsanevakis ve ark., 2014) kıyılarında istilacı tür olarak kayıtlara geçmiştir.

Türkiye'den ilk kez Mayıs 2015 tarihinde Bandırma kıyılarından rapor edilmiştir (Bariche ve ark., 2020). İstilacı bir tür olarak bilinen *G. turuturu* türünün, günümüzde Erdek ve Mudanya kıyılarında da yayılış gösterdiği belirlenmiştir. Marmara Denizi'nin yoğun bir deniz trafiğine sahip olması göz önüne alındığında *G. turuturu* türünün Türkiye'ye balast suyu yoluyla ulaşmış olabileceği düşünülmektedir.

Genel olarak istilacı türlerin ekolojik değişkenlere karşı geniş bir toleransa sahip olduğu bilinmektedir (Bommarito ve ark., 2024). Ekolojik değişkenlerden biri olan ultraviyole radyasyonu (UVR)'nin yerküreye ulaşan miktarı, atmosferik sera gazlarının artışıyla birlikte artış göstermiştir. Bu artış deniz canlılarını da olumsuz yönde etkilemektedir. Artan UVR'nin deniz yosunları üzerine etkilerini araştıran birçok çalışma bulunmaktadır (Wiencke ve ark., 2000; Dobretsov ve ark., 2021; Rothausler ve ark., 2022). Bu çalışmalar UVR'nin deniz yosunlarında fotosentez (Xu ve Gao 2016; Rothausler ve ark., 2022), besin alımı (Vinegla ve ark., 2006), üreme (Dobretsov ve ark., 2020) ve büyüme (Polo ve Chow, 2020; Schneider ve ark., 2022) üzerinde etkileri olduğunu göstermektedir. Ancak yapılan çalışmalar deniz yosunlarının UVR'ye

karşı fizyolojik cevabının türler arasında farklı olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, bu çalışmada UVR'nin *G. turuturu* türü üzerine fizyolojik etkilerinin belirlenmesi ve *G. turuturu* türünün UVR'ye karşı cevaplarının araştırılması hedeflenmiştir.

Materyal ve Metot

Grateloupia turuturu örnekleri, Ekim – 2022'de Mudanya (Bursa) kıyılarından toplanmıştır. Laboratuvara getirilen örnekler sentetik deniz suyu ile yıkanarak epifitlerinden arındırılmıştır. Temizlenen örnekler, içerisinde filtre edilmiş 23 ppt tuzluluğa sahip deniz suyu bulunan ve provasoli çözeltisi (Provasoli 1968) ile zenginleştirilmiş akvaryumlarda 4 günlük alışma sürecine bırakılmıştır. Alışma süreci boyunca ortam sıcaklığı 22°C, pH:8.0 olarak ayarlanmış ve 60 $\mu\text{mol foton m}^{-2}\text{s}^{-1}$ Fotosentetik Aktif Radyasyon ile aydınlatılmıştır. Alışma sürecinden sonra sağlıklı örnekler seçilerek 3 farklı deney grubu oluşturulmuş ve stres çalışmaları yapılmıştır. Bu gruplar;

F: Fotosentetik Aktif Radyasyon (60 $\mu\text{mol foton m}^{-2}\text{s}^{-1}$)

FA: Fotosentetik Aktif Radyasyon (60 $\mu\text{mol foton m}^{-2}\text{s}^{-1}$) + Ultraviyole-A (2.07 W $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)

FAB: Fotosentetik Aktif Radyasyon (60 $\mu\text{mol foton m}^{-2}\text{s}^{-1}$) + Ultraviyole-A (2.07 W $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$) + Ultraviyole-B (4.14 W $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)

Deney grupları 10L filtre edilmiş sentetik deniz suyu içeren akvaryumlarda hazırlanmıştır. Hazırlanan kültür ortamında tuzluluk 23ppt, sıcaklık 22°C, aydınlanma periyodu 12A:12K ve pH: 8.0 olarak ayarlanmıştır. Akvaryumlar Provasoli çözeltisi ile zenginleştirilmiştir. F uygulaması için 60 $\mu\text{mol foton m}^{-2}\text{s}^{-1}$, FA uygulaması için ilave olarak 2.07 W $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ UVA radyasyonu ve FAB uygulaması için diğer ışıklara ilaveten 4.14 W $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ UVB radyasyonu kullanılmıştır. FAR için Osram Biolux floresan lambası, UV-A için Philips TL-K 40W/10-R UVA floresan lambası, UV-B için Philips TL 20W/01 RS UVB floresan lambası kullanılmıştır. Örnekler yukarıda belirtilen koşullara 1 hafta maruz bırakılmış ve sonrasında aşağıdaki analizler yapılmıştır.

Fotosentetik performans ölçümleri Fotosistem-II'nin (PSII) modülasyonu klorofil floresansının *in-situ* olarak ölçülmesiyle belirlenmiştir. PSII'nin maksimum fotokimyasal kuantum ürününün (F_v/F_m) ölçülmesinde, ölçümü yapılacak tallus parçası cihazın ilgili aparatına konularak karanlık ortam sağlanmıştır. Örnek üzerine uzak-kırmızı ışın verilerek her iki fotosistem merkezinin kapalı konuma gelmesi için, 10 dk karanlıkta bekletilmiş ve F_v/F_m ölçümü alınmıştır. Sonrasında örnekler üzerine, kademeli olarak artan 10 farklı yoğunlukta

aktinik ışık uygulanmıştır. Her 30 saniyede bir 0,8 saniye doygunluk atışı yapılarak, etkili PSII kuantum ürünü ($\Delta F/F_m$) kaydedilmiş ve bir üst aktinik ışık seviyesi verilmeye başlanmıştır. Ölçümlerden elde edilen $\Delta F/F_m$ değeri kullanılarak fotosentetik etkinlik parametreleri olan maksimum göreceli elektron transfer oranı ($rETR_{max}$), fotosentezin doygun olduğu ışık yoğunluğu (I_k) ve alfa değerleri Eilers ve Peeters (1988) tarafından önerilen formül kullanılarak hesaplanmıştır.

Nitrat redüktaz aktivitesi Corzo ve Niell (1991) tarafından önerilen yöntemle *in situ* olarak yapılmıştır. Azot gazı ilavesiyle anaerobik ortam koşulları oluşturularak 0.1M fosfat tamponu içerisine yaklaşık 0.1g tal parçası konularak 60dk karanlıkta inkube edilmiştir. Süre sonunda tampon çözeltisindeki NO_2^{-2} miktarı belirlenerek enzim aktivitesi hesaplanmıştır.

Protein tayini Bradford (1976) yöntemine göre yapılmıştır. 0.1 g tal parçası, 3ml 0.2M pH; 6.8 sodyum fosfat tamponu ile homojenize edilmiştir. Elde edilen homojenat 3000g'de 5 dk santrifüj edilmiştir. Süpernatant Coomassie Brilliant Blue G250 ile boyanarak 595nm'de absorbansı okunmuştur.

Klorofil analizi için sıvı azotla dondurulan örnekler, Inskeep ve Bloom'un (1985) metoduna göre N,N-Dimethylformamide ile karanlık ortamda ekstrakte edilmiştir. Ekstraktın spektrofotometrik olarak ölçülmesinden sonra, aşağıdaki formül yardımı ile klorofil-a miktarları hesaplanmıştır.

$$Chl-a = 12.70 \times A_{664.5} - 2.79 \times A_{647}$$

Fikoeritrin ve fikosiyanın analizi için sıvı azotla dondurulan örnekler Beer ve Eshel (1985) metoduna göre fosfat tamponu ile ekstrakte edilmiştir. Ekstraktın spektrofotometrik olarak ölçülmesinden sonra, aşağıdaki formüller kullanılarak fikoeritrin ve fikosiyanın miktarları hesaplanmıştır.

$$\text{Fikoeritrin: } [(A_{564} - A_{592}) - (A_{455} - A_{592}) \times 0.20] \times 0.12$$

$$\text{Fikosiyanın: } [(A_{618} - A_{645}) - (A_{592} - A_{645}) \times 0.51] \times 0.15$$

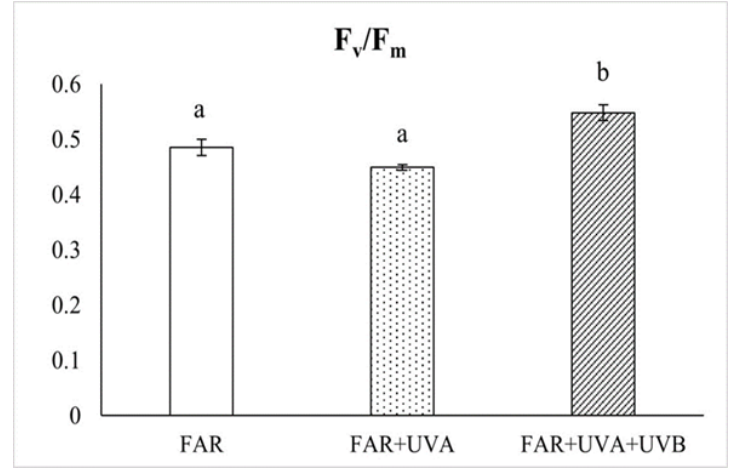
UV absorbe eden bileşikler (UVACs) absorbans spektrumu ile verilmiştir. Sıvı azot ile dondurulmuş örnekler 25% metanol çözeltisi ile havanda homojenize edildikten sonra, 5dk sonikatorde bekletilmiştir. Sonrasında 45°C su banyosunda inkube edilmiş ve 5 dk 5000g'de santrifüj edilmiştir. Süpernatantın 280-400nm'de absorbansı alınmış ve örnek ağırlıklarına göre standardize edilmiştir.

Yapılan analizlerin uygulamalar arasındaki farklılığı tek yönlü varyans analizi ile test edilmiştir. Çoklu karşılaştırma testi olarak Tukey HSD testi uygulanmıştır. Varyansın homojenliği ve normalite, Levene testi ve Kolmogorov-Smirnov ile

belirlenmiştir. Tüm istatistiksel analizler IBM SPSS 29.0 paket programı ile yapılmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Ekofizyolojik çalışmalarda yaygın olarak kullanılan F_v/F_m oranı, optimum kuantum ürünü temsil etmektedir. Farklı ışık rejimlerine maruz kalan *G. turuturu* örneklerinde F_v/F_m oranı farklılık göstermiştir ($F:16.78$; $p=0.001$; Şekil-1). En yüksek F_v/F_m oranı FAB uygulamasında 0.548 ± 0.014 olarak bulunmuştur. Çoklu karşılaştırma testleri F ile FA uygulamalarındaki örneklerin F_v/F_m oranlarının birbirine benzer olduğunu, FAB uygulamasının ise diğer uygulamalardan farklı olduğunu göstermiştir.



Şekil 1. Farklı ışık rejimlerine maruz kalan *Grateloupia turuturu* örneklerinin F_v/F_m oranları (ortalama ± standart hata, sütunlar üzerindeki harfler istatistiksel farklılıkları göstermektedir)

Figure 1. F_v/F_m ratios of *Grateloupia turuturu* samples exposed to different light regimes (mean ± standard error, letters on the bars indicate statistical differences)

Alfa değeri düşük ışık yoğunluklarındaki elektron transfer oranını, dolayısıyla da antenna sistemindeki pigmentlerin fotosentetik etkinliğini göstermektedir. Çalışmada elde edilen veriler en yüksek alfa değerinin F uygulamasında olduğunu göstermiştir (Tablo 1). En düşük alfa değeri ise FA uygulamasında bulunmuştur. İstatistiksel olarak F ve FA uygulamalarının birbirinden farklı olduğu ($F:4.73$; $p=0.031$), FAB uygulamasının ise diğer iki uygulamayla benzer olduğu gözlenmiştir.

Fotosentezin doygun olduğu ışık yoğunluğunu gösteren I_k değeri $44.7 - 74.85 \mu\text{mol foton m}^{-2}\text{s}^{-1}$ arasında bulunmuş (Tablo 1) ve istatistiksel olarak uygulamalar arasında farklılık olduğu tespit edilmiştir ($F:6.23$; $p=0.011$). Çoklu karşılaştırma testleri, alfa değeriyle benzer olarak I_k değerlerinin de F ile

FA uygulamaları arasında benzer olduğunu, FAB uygulamasının ise her iki uygulamayla benzer olduğunu göstermiştir.

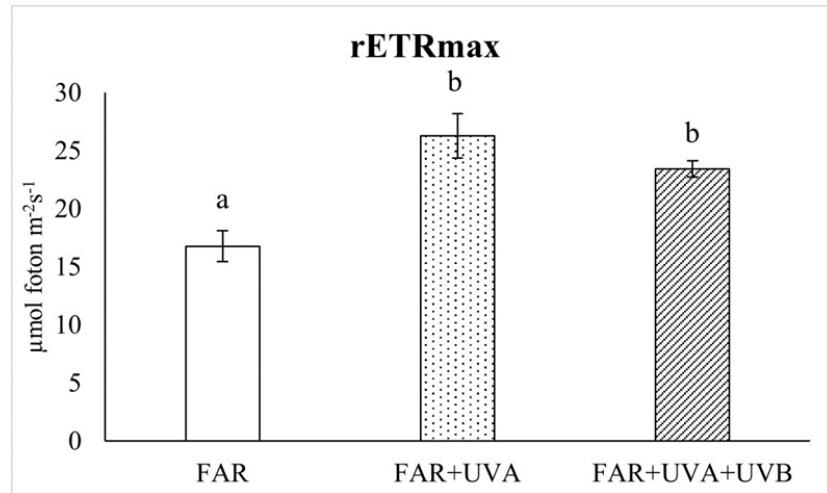
En düşük $rETR_{max}$ değeri F uygulamasındaki örneklerde $16.77 \pm 1.33 \mu\text{mol foton m}^{-2}\text{s}^{-1}$ olarak bulunmuştur (Şekil 2).

FA ile FAB uygulamalarına maruz kalan örneklerde ise daha yüksek $rETR_{max}$ değeri kaydedilmiştir. Tek yönlü varyans analizi sonuçları uygulamalar arasında farklılıklar olduğunu (F:11.98; p=0.001) ve FA ile FAB uygulamalarının birbirine benzer olduğunu göstermiştir.

Tablo 1. Farklı ışık rejimlerine maruz kalan *Grateloupia turuturu* örneklerinin alfa, I_k , protein, klorofil-a, fikoeritrin ve fikosiyenin içerikleri (ortalama \pm standart hata)

Table 1. Alpha, I_k , protein, chlorophyll-a, phycoerythrin and phycocyanin contents of *Grateloupia turuturu* samples exposed to different light regimes (mean \pm standard error)

| | FAR (F) | FAR+UVA (FA) | FAR+UVA+UVB (FAB) |
|--|--------------------|--------------------|--------------------|
| Alfa | 0.431 \pm 0.016 | 0.339 \pm 0.029 | 0.374 \pm 0.016 |
| I_k ($\mu\text{mol foton m}^{-2} \text{s}^{-1}$) | 44.700 \pm 4.517 | 74.850 \pm 7.656 | 64.933 \pm 5.892 |
| Protein (mg/g) | 5.949 \pm 0.178 | 6.075 \pm 0.054 | 5.628 \pm 0.060 |
| Klorofil-a (mg/g) | 0.360 \pm 0.017 | 0.316 \pm 0.008 | 0.385 \pm 0.014 |
| Fikoeritrin (mg/g) | 1.013 \pm 0.058 | 0.970 \pm 0.113 | 1.002 \pm 0.156 |
| Fikosiyenin(mg/g) | 0.041 \pm 0.004 | 0.034 \pm 0.006 | 0.043 \pm 0.008 |

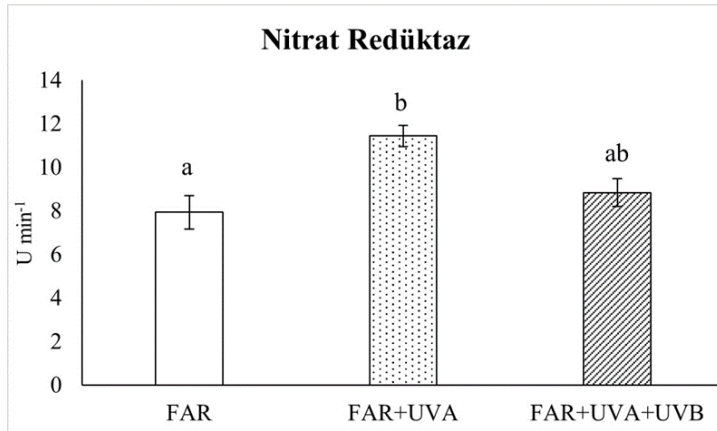


Şekil 2. Farklı ışık rejimlerine maruz kalan *Grateloupia turuturu* örneklerinin $rETR_{max}$ değerleri (ortalama \pm standart hata, sütunlar üzerindeki harfler istatistiksel farklılıkları göstermektedir)

Figure 2. $rETR_{max}$ values of *Grateloupia turuturu* samples exposed to different light regimes (mean \pm standard error, letters on columns indicate statistical differences)

Tablo-1’de farklı uygulamalardaki örneklerin klorofil-a, fikoeritrin, fikosiyanin ve toplam protein içerikleri verilmiştir. Örneklerin klorofil-a değerleri 0.316 – 0.385 mg/g aralığında bulunmuştur. FA ile FAB uygulamalarına maruz kalan örneklerin klorofil-a içerikleri arasında farklılık olduğu, ancak F uygulamasındaki örneklerin diğer iki uygulamayla benzer klorofil-a içeriğine sahip olduğu tespit edilmiştir. Tüm uygulamalardaki örneklerin fikoeritrin ve fikosiyanin içerikleri ise birbirine benzer değerler göstermiştir (F:0.036; p=0.97; F:0.52; p=0.61; sırasıyla). Uygulamalar arasında en düşük protein içeriği FAB uygulamasına maruz kalan örneklerde bulunmuştur. Ancak istatistiksel olarak FAB uygulaması ile F uygulaması arasında farklılık olmadığı gözlenmiştir. Benzer şekilde FA uygulamasındaki örneklerin protein içerikleri de F uygulaması ile benzer bulunmuştur.

Farklı uygulamalara maruz kalan örneklerin nitrat redüktaz aktiviteleri Şekil 3’de gösterilmektedir. En düşük nitrat redüktaz aktivitesi F uygulamasına maruz kalan örneklerde bulunmuştur. En yüksek enzim aktivitesi ise FA uygulamasındaki örneklerde kaydedilmiştir. FAB uygulamasındaki örnekler ise diğer iki uygulamayla benzer bulunmuştur.

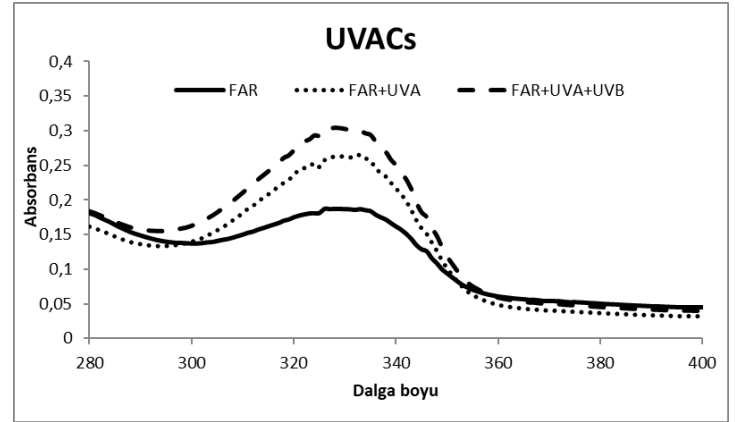


Şekil 3. Farklı ışık rejimlerine maruz kalan *Grateloupia turuturu* örneklerinin nitrat redüktaz aktivitesi (ortalama ± standart hata, sütunlar üzerindeki harfler istatistiksel farklılıkları göstermektedir)

Figure 3. Nitrate reductase activity of *Grateloupia turuturu* samples exposed to different light regimes (mean ± standard error, letters on columns indicate statistical differences)

Bir hafta boyunca farklı ışık uygulamalarına maruz kalan *G. turuturu* örneklerinin UVACs spektrumları Şekil 4’de verilmiştir. Tüm uygulamalarda en yüksek absorptans değerleri 325-330nm dalga boyunda ölçülmüştür. Elde edilen veriler F uygulamasındaki örneklerin diğer uygulamalardan daha düşük absorptans spektrumuna sahip olduğunu göstermiştir. FA

ve FAB uygulamalarındaki örneklerin absorptans spektrumları birbirine yakın olmakla birlikte, FAB uygulamasında daha yüksek bulunmuştur.



Şekil 4. Farklı ışık rejimlerine maruz kalan *Grateloupia turuturu* örneklerinin UVACs spektrumları

Figure 4. UVACs spectra of *Grateloupia turuturu* samples exposed to different light regimes

Optimum kuantum ürününü temsil eden F_v/F_m oranı, antenna sistemlerinden PSII reaksiyon merkezine enerji transferinin etkinliğini göstermektedir. Bu oran ekofizyolojik çalışmalarda bireylerin fizyolojik durumu hakkında bilgi vermektedir. F_v/F_m oranı sağlıklı bireylerde genellikle sabit değerler göstermektedir. Ancak bu değer algal divisiyolar arasında farklılık göstermektedir. Chlorophyta türlerinde ~0.8 civarında, Phaeophyceae türlerinde ~0.7 civarında ve Rhodophyta türlerinde ise diğer divisiyolardan daha düşük olarak ~0.6 civarında olduğu bilinmektedir (Büchel ve Wilhelm, 1993).

Günümüze kadar yapılan birçok çalışmada UVR’nin F_v/F_m oranı üzerine etkileri araştırılmıştır (Chaloub ve ark., 2010; Xu ve ark., 2023; Li ve ark., 2024). Genel kanı UVR’nin deniz yosunlarında F_v/F_m oranını düşürdüğü yönündedir (Figueira ve ark., 2003). Ancak bazı çalışmalarda ise UVR’ye maruz kalan örneklerin F_v/F_m oranının değişmediği veya arttığı gözlenmiştir (Dring ve ark. 1996; Bischof ve ark., 2000). Bu çalışmalarla benzer olarak FAB uygulamasına maruz kalan *G. turuturu* örneklerinin F_v/F_m oranı diğer uygulamalardan yüksek bulunmuştur. F_v/F_m oranındaki bu artış uygulanan dozdaki UVR’nin *G. turuturu* türünde strese yol açmadığı anlamına gelmektedir.

$rETR_{max}$ değeri fotosentetik etkinlik hakkında bilgi veren en önemli parametrelerdendir. Bu çalışmada elde edilen veriler UVR’ye maruz kalan örneklerin daha yüksek $rETR_{max}$ değerine sahip olduğunu göstermektedir. Bu veri, UVR’nin *G. tu-*

ruturu türünde fotosentetik aktiviteyi artırdığı anlamına gelmektedir. Ancak FA uygulaması ile FAB uygulamasındaki örneklerin $rETR_{max}$ değerlerinin benzer olması, fotosentetik aktivitedeki artışın UVA ışınlarından kaynaklandığını düşündürmektedir. UVA ile birlikte UVB varlığı deniz yosunlarının fizyolojisinde antagonistik, sinerjistik veya nötral etki gösterebilmektedir (Bischof ve ark., 2006; Rex ve Mukherjee 2023). Bu çalışmada FAR ve UVA ışınlarına ilaveten UVB varlığı $rETR_{max}$ değerinde pozitif veya negatif yönde bir değişime neden olmamıştır. Dolayısıyla verilerimiz, *G. turuturu* türünün UVA ışınlarını fotosentez için kullanabildiğini düşündürmektedir. Vinegla ve ark., (2006) tarafından *Fucus spiralis* türünde UVA radyasyonunun fotosentezi stimüle ettiğini belirtmesi de bu düşüncemizi desteklemektedir. İlave-ten *Gracilaria lemaneiformis* (Gao ve Xu, 2008) türünün de UVA ışınlarının etkisiyle fotosentetik performansını arttırdığı belirtilmiştir. *Fucus gardneri* türünün ise UVA'ya maruz kaldığında büyüme oranının arttığı rapor edilmiştir (Henry ve Alstyn, 2004). Hatta, Xu ve Gao, (2016)'da UVA enerjisinin fotosentetik karbon fiksasyonunda kullanılmasının bazı kah-verengi, kırmızı ve yeşil alglerde olduğunu belirtmesi, bu durumun deniz yosunları arasında yaygın olduğunu göstermektedir.

F uygulaması ile kıyaslandığında, FA ve FAB uygulamalarında kaydedilen daha düşük alfa değerleri ve daha yüksek I_k değerleri de UVR'ye maruz kalan *G. turuturu* örneklerinin daha yüksek fotosentetik etkinliğe sahip olduğunu doğrulamaktadır. Alfa değeri düşük ışık yoğunluklarındaki $rETR_{max}$ 'ı dolayısı ile de fotosentetik pigmentlerin etkinliğini göstermektedir. Çalışmamızda elde edilen pigment miktarlarının uygulamalar arasında farklılık göstermemiş olması, örneklerin antenna boyutunda değişim olmadığı anlamındadır. Antenna boyutunda bir değişim olmazken, UVR'ye maruz kalan örneklerin daha düşük alfa değerleri göstermesi, antenna pigmentlerinin fotosentezde daha etkin oldukları anlamına gelmektedir. I_k değeri de fotosentezin maksimum doygunluğa ulaşabilmesi için gereken ışık yoğunluğunu temsil etmektedir. I_k değerinin daha yüksek olması, fotosentetik etkinliğin de daha fazla olduğu, bu nedenle de daha fazla ışığa ihtiyaç duyulduğu anlamındadır.

Deniz yosunları fotosentez yoluyla karbon bileşiklerini sentezliyor olsa da diğer besin tuzlarını deniz suyundan temin etmek durumundadırlar. Bu besin tuzları arasında azot, amino asitlerin ve proteinlerin yapısına katılması nedeniyle yaygın olarak araştırılmaktadır. Deniz yosunları inorganik azot formlarından amonyum ve nitratı kolaylıkla kullanabilmektedir (Rosenberg ve Ramus 1984; Hurd ve ark., 2014). Nitrat redüktaz enzimi nitrat asimilasyonunda ilk basamak olan nitratın nitrite indirgenmesini katalizleyen bir enzimdir. Oluşan nitrit, daha sonra amonyuma çevrilmekte ve amonyumda

doğrudan amino asit ve proteinlerin sentezlenmesinde kullanılmaktadır. Bu nedenle, nitrat redüktaz enzim aktivitesinin belirlenmesi, deniz yosunlarının azot metabolizması hakkında bilgi vermektedir.

UVB radyasyonunun deniz yosunlarında azot alımını inhibe ettiği bilinmektedir (Sinha ve ark., 1995). Buna karşılık bazı çalışmalarda UVB radyasyonunun azot alımını etkilemediği belirtilmiştir (Braune ve Döhler 1996). Diğer yandan UVB'nin deniz yosunlarında azot alımını ve nitrat redüktaz aktivitesini stimüle ettiğini bildiren çalışmalar da bulunmaktadır (Vinegla ve ark., 2006; Flores-Moya ve ark., 1998). Bu çalışmada UVR'ye maruz kalan örneklerde enzim aktivitesinde artış olmuştur. Diğer bir ifadeyle, UVR *G. turuturu* türünün nitrat alımını artırmıştır. Diğer uygulamalardan farklı olarak, FAB uygulamasındaki örneklerde, azot alımındaki artış, örneklerin protein içeriğine yansımamıştır. Hatta FAB uygulamasındaki örneklerin protein içeriklerinin azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Deniz yosunlarının strese maruz kaldıklarında mikosporin benzeri aminoasitler gibi sekonder metabolitlerin sentezini artırdığı bilinmektedir (Vega ve ark., 2021). Yapılan çalışmalar UVR'ye maruz kalan *Saccharhiza dermatodea* (Roleda ve ark., 2006), *Iridaea tuberculosa* (Jofre ve ark., 2020), *Sargassum horneri* (Xu ve ark., 2022) türlerinde sekonder metabolitlerde artış olduğunu göstermektedir. UVB'ye maruz kalan *G. turuturu* örneklerinde nitrat redüktaz aktivitesindeki artışa rağmen protein miktarının artmaması, hatta azalma eğiliminde olması, örneklerin büyümeden çok UVR ile başa çıkabilmek için sekonder metabolit sentezini artırdığını düşündürmektedir. FA ve FAB uygulamalarındaki örneklerin UVACs absorbanlarının da yüksek olması bu düşüncemizi desteklemiştir.

Sonuç

Sonuç olarak elde edilen veriler, *G. turuturu* türünün UVA enerjisini fotosentezde ışık kaynağı olarak kullanabildiğini, UVR etkisindeyken azot alımını artırdığını göstermektedir. Bu nedenle *G. turuturu* türünün UVA ve UVB radyasyonuna karşı hassas olmadığını, hatta toleranslı olduğunu düşünebiliriz. Kıyılarımızda yayılış gösteren *G. turuturu* türünün UVR'ye karşı toleranslı olması, istilacı tür karakteristiği ile de uyumlu gözükmektedir. Ancak, UVB'ye maruz kalan örneklerin protein içeriğinin azalma eğilimi göstermesi, daha uzun süreli çalışmalara ihtiyaç olduğunu göstermektedir.

Etik Standart ile Uyumluluk

Çıkar çatışması: Yazarlar bu yazı için gerçek, potansiyel veya algılanan çıkar çatışması olmadığını beyan etmişlerdir.

Etik izin: Çalışma etik izin gerektirmemektedir.

Veri erişilebilirliği: Veriler talep üzerine sağlanacaktır.

Finansal destek: Bu çalışma, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAP) tarafından FGA-2021-500 numaralı proje ile maddi olarak desteklenmiştir.

Teşekkür: -

Açıklama: -

Kaynaklar

Bárbara, I., Cremades, J. (2004). *Grateloupia lanceola* versus *Grateloupia turuturu* (Gigartinales, Rhodophyta) en la Península Ibérica. *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, 61(2), 103-118.

<https://doi.org/10.3989/ajbm.2004.v61.i2.38>

Bariche, M., Al-Mabruk, S., Ateş, M.A., Büyük, A., Crocetta, F., Dritsas, M., Edde, D., Fortič, A., Gavrul, E., Gerovasileiou, V., Gökoğlu, M., Huseynoglu, F., Karachle, P., Kleitou, P., Terbriyk Kurt, T., Langeneck, J., Lardicci, C., Lipej, L., Pavloudi, C., Pinna, M., Rızgalla, J., Rüşti Özen, M., Sedano, F., Taşkın, E., Yıldız, G., Zangaro, F. (2020). New alien Mediterranean biodiversity records (March 2020). *Mediterranean Marine Science*, 21(1), 129-145.

<https://doi.org/10.12681/mms.21987>

Beer, S., Eshel, A. (1985). Determining phycoerythrin and phycocyanin concentrations in aqueous crude extracts of red algae. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 36, 785-792.

<https://doi.org/10.1071/mf9850785>

Bischof, K., Krabs, G., Hanelt, D., Wiencke, C. (2000). Photosynthetic characteristics and mycosporine-like amino acids under UV radiation: a competitive advantage of *Mastocarpus stellatus* over *Chondrus crispus* at the Helgoland shoreline? *Helgol Mar Res*, 54, 47-52.

<https://doi.org/10.1007/s101520050035>

Bischof, K., Gomez, I., Molis, M., Hanelt, D., Karsten, U., Lüder, U., Roleda, M.Y., Zacher, K., Wiencke, C. (2006). "Ultraviolet radiation shapes seaweed communities", Reviews in Environmental Science and Biotechnology, 5, 141-166.

<https://doi.org/10.1007/s11157-006-0002-3>

Bommarito, C., Noe, S., Diaz-Morales, D.M., Lukic, I., Hiebenthal, C., Rilov, G., Guy-Haim, T., Wahl, M. (2024). Co-occurrence of native and invasive macroalgae might be facilitated under global warming. *Science of The Total Environment*, 912, 169087.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169087>

Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal Biochem*, 72, 248-54.

[https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)

Braune, W., Döhler, G. (1996). Impact of UV-B radiation on ¹⁵N-Ammonium and ¹⁵N-Nitrate uptake by *Haematococcus lacustris* (volvocales) II. The influence of a recovery period, *Journal of Plant Physiology*, 149(3-4), 349-357.

[https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(96\)80133-7](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(96)80133-7)

Büchel, C., Wilhelm, C. (1993). In vivo analysis of slow chlorophyll fluorescence induction kinetics in algae: Progress, problems and perspectives. *Photochem. Photobiology*, 58, 137-148.

<https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.1993.tb04915.x>

Chaloub, R.M., Reinert, F., Nassar, C.A.G., Fleury, B.G., Mantuano, D.G., Larkum, A.W.D. (2010). Photosynthetic properties of three Brazilian seaweeds. *Brazilian Journal of Botany*, 33(2), 371-374.

<https://doi.org/10.1590/S0100-84042010000200017>

Corzo, A. Niell, F.X. (1991). Determination of nitrate reductase activity in *Ulva rigida* C. Agardh by the in situ method. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 146(2), 181-191.

[https://doi.org/10.1016/0022-0981\(91\)90024-Q](https://doi.org/10.1016/0022-0981(91)90024-Q)

Çinar, M.E., Bilecenoğlu, M., Yokeş, M.B., Öztürk, B., Taşkın, E., Bakir, K., Doğan, A., Açık, Ş. (2021). Current status (as of end of 2020) of marine alien species in Turkey. *PLOS ONE*, 16(5), e0251086.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0251086>

de Azevedo, C.A.A., Cassano, V., Júnior, P.A.H., Batista, M.B., de Oliveira, M.C. (2015). Detecting the non-native *Grateloupia turuturu* (Halymeniales, Rhodophyta) in southern Brazil. *Phycologia*, 54(5), 451-454.

<https://doi.org/10.2216/15-25.1>

- Dobretsov, S., Veliz, K., Romero, M.S., Tala, F., Thiel, M. (2020).** Impact of UV radiation on the red seaweed *Gelidium lingulatum* and its associated bacteria. *European Journal of Phycology*, 56(2), 129-141.
<https://doi.org/10.1080/09670262.2020.1775309>
- Dring, M. J., Wagner, A., Boeskov, J., Lüning, K. (1996).** Sensitivity of intertidal and subtidal red algae to UVA and UVB radiation, as monitored by chlorophyll fluorescence measurements: influence of collection depth and season, and length of irradiation. *European Journal of Phycology*, 31, 293-302.
<https://doi.org/10.1080/09670269600651511>
- Eilers, P.H.C., Peeters, J.C.H. (1988).** A model for the relationship between light intensity and the rate of photosynthesis in phytoplankton. *Ecological Modelling*, 42(3-4), 199-215.
[https://doi.org/10.1016/0304-3800\(88\)90057-9](https://doi.org/10.1016/0304-3800(88)90057-9)
- Farnham, W.F. (1980).** Studies on aliens in the marine flora of southern England, In: Price, J. H., Irvine, D.E.G., Farnham, W. F.(Eds.) *The Shore Environment*. London. Pp. 875-914.
- Flores-Moya, A., Gomez, I., Vinegla, B., Altamirano, M., Perez-Rodriguez, E., Maestre, C., Caballero, R.M., Figueroa, F.L. 1998.** “Effects of solar radiation on the endemic Mediterranean red alga *Rissoella verruculosa*: photosynthetic performance, pigment content and the activities of enzymes related to nutrient uptake”, *New Phytologist*, 139, 673-683.
<https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.1998.00233.x>
- Gao, K., Xu, J. (2008).** Effects of solar UV radiation on diurnal photosynthetic performance and growth of *Gracilaria lemaneiformis* (Rhodophyta). *European Journal of Phycology*, 43, 297-307.
<https://doi.org/10.1080/09670260801986837>
- Gouletquer, P., Bachelet, G., Sauriau, P.G., Noel, P. (2002).** Open Atlantic Coast of Europe- A century of introduced species into French waters. In: Leppäkoski, E., Gollasch, S., Olenin, S. (Eds) *Invasive Aquatic Species of Europe. Distribution, Impacts and Management*. Springer, Dordrecht.
https://doi.org/10.1007/978-94-015-9956-6_30
- Guiry, M.D., Guiry, G.M. (2024).** *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org> (Erişim 15 Kasım 2024).
- Hurd, C.L., Harrison, P.J., Bischof, K., Lobban, C.S. (2014).** *Seaweed Ecology and Physiology* 2nd edition. Cambridge University. Press, 566p. ISBN 978-0-521-14595-4.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781139192637>
- Inskeep, W.P., Bloom, P.R. (1985).** Extinction coefficients of chlorophyll a and b in n,n-dimethylformamide and 80% acetone. *Plant Physiology*, 77(2), 483-5.
<https://doi.org/10.1104/pp.77.2.483>
- Jofre, J., Celis-Pla, P.S.M., Figueroa, F.L., Navarro, N.P. (2020).** Seasonal variation of Mycosporine-Like Amino Acids in three subantarctic red seaweeds. *Marine Drugs*, 24, 18(2), 75.
<https://doi.org/10.3390/md18020075>
- Katsanevakis, S., Acar, Ü., Ammar, I., Balcı, B.A., Bekas, P., Belmonte, M., Chintiroglou, C.C., Consoli, P., Dimiza, M., Fryganiotis, K., Gerovasileiou, V., Gnısci, V., Gülşahin, N., Hoffman, R., Issaris, Y., Izquierdo-Gomez, D., Izquierdo-Munoz, A., Kavadas, S., Koehler, L., Konstantinidis, E., Mazza, G., Nowell, G., Önal, U., Özen, M.R., Pafilis, P., Pastore, M., Perdikaris, C., Poursanidis, D., Prato, E., Russo, F., Sicuro, B., Tarkan, A.N., Thessalou-Legaki, M., Tiralongo, F., Triantaphyllou, M., Tsiamis, K., Tunçer S., Turan, C., Türker, A., Yapıcı, S. (2014).** New Mediterranean biodiversity records (October, 2014). *Mediterranean Marine Science*, 15(3), 675–695.
<https://doi.org/10.12681/mms.1123>
- Li, B., Xu, Z., Jiang, X., Wu, H., Bao, M., Zang, S., Yan, F., Yuan, T. (2024).** Diverse nitrogen enrichments enhance photosynthetic resistance of *Sargassum horneri* to ultraviolet radiation. *Frontiers Marine Science*, 11, 1420839.
<https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1420839>
- Miller, K.A., Aguilar-Rosas, L.E., Pedroche, F.F. (2011).** A review of non-native seaweeds from California, USA and Baja California, Mexico. *Hidrobiológica*, 21(3), 365-379.
- Polo, L.K., Chow, F. (2020).** Physiological performance by growth rate, pigment and protein content of the brown seaweed *Sargassum filipendula* (Ochrophyta: Fucales) induced by moderate UV radiation exposure in the laboratory. *Scientina Marina*, 84(1), 50-70.
<https://doi.org/10.3989/scimar.04982.22A>
- Provasoli, L. (1968).** Media and prospects for the cultivation of marine algae. In: *Proceedings of the US-Japan Conference, Japanese Society of Plant Physiology, Hakone, 12–15 September 1966*, pp 63–75.

- Rex M.C., Mukherjee, A. (2023). The comparative effects of visible light and UV-A radiation on the combined toxicity of P25 TiO₂ nanoparticles and polystyrene microplastics on *Chlorella* sp.. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 122700–122716.
<https://doi.org/10.1007/s11356-023-30910-0>
- Roleda, M.Y., Wiencke, C., Lüder, U.H. (2006). Impact of ultraviolet radiation on cell structure, UV-absorbing compounds, photosynthesis, DNA damage, and germination in zoospores of Arctic *Saccorhiza dermatodea*. *Journal of Experimental Botany*, 57(14), 3847–3856.
<https://doi.org/10.1093/jxb/erl154>
- Rosenberg, G., Ramus J. (1984). Uptake of inorganic nitrogen and seaweed surface area: Volume ratios, *Aquatic Botany*, 19(1–2), 65–72.
[https://doi.org/10.1016/0304-3770\(84\)90008-1](https://doi.org/10.1016/0304-3770(84)90008-1)
- Rothäusler, E., Dobretsov, S., Gómez, M.F., Jofré-Madariaga, D., Thiel, M., Véliz, K., Tala, F. (2022). Effect of UV-radiation on the physiology of the invasive green seaweed *Codium fragile* and its associated bacteria. *Marine Environmental Research*, 180, 105708.
<https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2022.105708>
- Sakai, A.K., Allendorf, F.W., Holt, J.S., Lodge, D.M., Mollofsky, J., With, K.A., Baughman, S., Cabin, R.J., Cohen, J.E., Ellstrand, N.C., McCauley, D.E., O’Neil, P., Parker, I.M., Thompson, J.N., Weller, S.G. (2001). The population biology of invasive species. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 32, 305–332.
<https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.32.081501.114037>
- Schneider, G., Figueroa, F.F., Vega, J., Aviles, A., Antunes Horta, P., Korbee, N., Bonomi-Barufi, J. (2022). Effects of UV–visible radiation on growth, photosynthesis, pigment accumulation and UV-absorbing compounds in the red macroalga *Gracilaria cornea* (Gracilariales, Rhodophyta). *Algal Research*, 64, 102702.
<https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102702>
- Sinha, R. P., Singh, N., Kumar, A., Kumar, H. D., Hader, M., Hader, D.P. (1995). Effects of UV irradiation on certain physiological and biochemical processes in cyanobacteria, *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 30, 107–113.
[https://doi.org/10.1016/1011-1344\(95\)07205-5](https://doi.org/10.1016/1011-1344(95)07205-5)
- Taşkın, E., Çakır, M., Akçalı, B. (2017). Occurrence of the alien marine red alga *Galaxaura rugosa* in Turkey. *Black Sea/Mediterranean Environment*, 23(2), 156–161.
- Tolomio, C. (1993). First record of *Grateloupia doryphora* (Mont.) howe (Rhodophyceae) from the Lagoon of Venice. *Lavori – Societa` Veneto Di Scienze Naturali*, 5–220.
- Turan, G., Tekoğul, H., Cirik, S., Meinesz, A. (2011). First record of the invasive green seaweed *Caulerpa taxifolia* (Bryopsidales) on the coast of Turkey. *Cryptogamie, Algologie*, 32, 379–382.
<https://doi.org/10.7872/crya.v32.iss4.2011.379>
- Vega, J., Schneider, G., Moreira, B. R., Herrera, C., Bonomi-Barufi, J., Figueroa, F. L. (2021). Mycosporine-Like Amino Acids from red macroalgae: UV-Photoprotectors with potential cosmeceutical applications. *Applied Sciences*, 11, 5112.
<https://doi.org/10.3390/app11115112>
- Villalard-Bohnsack, M., Harlin, M.M. (1997). Appearance of *Grateloupia doryphora* (Halymeniaceae, Rhodophyta) on the northeast coast of North America. *Phycologia*, 36(4), 324–328.
<https://doi.org/10.2216/i0031-8884-40-4-372.1>
- Vinegla, B., Segovia, M., Figueroa, F.L., (2006). Effect of artificial UV radiation on carbon and nitrogen metabolism in the macroalgae *Fucus spiralis* L. and *Ulva olivascens* Dan-gear. *Hydrobiologia*, 560, 31–42.
<https://doi.org/10.1007/s10750-005-1097-1>
- Wiencke, C., Gomez, I., Pakker, H., Flores-Moya, A., Altamirano, M., Hanelt, D., Bishof, K., Figueroa, F.L. (2000). Impact of UV-Radiation on viability, photosynthetic characteristics and DNA of brown algal zoospores: implications for depth zonation. *Marine Ecology Progress Series*, 197, 217–229.
<https://doi.org/10.3354/meps197217>
- Xu, J., Gao, K. (2016). Photosynthetic contribution of UV-A to carbon fixation by macroalgae. *Phycologia*, 55(3), 318–322.
<https://doi.org/10.2216/15-91.1>
- Xu, Z., Li, B., Li, L., Wang, N., Wang, Y., Wang, H., Yan, F., Bao, M., Zang, S., Wu, H., Sun, S. (2023). Effects of UV radiation on photosynthesis of *Sargassum muticum*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 569, 151961.
<https://doi.org/10.1016/j.jembe.2023.151961>

Xu, Z., Li, L., Jiang, H., Yan, F., Liu, L., Zang, S., Ma, Y., Wu, H. (2022). Photosynthetic responses of a golden tide alga (*Sargassum horneri*) to ultraviolet radiation. *Frontiers in Marine Science*, 9, 978376.

<https://doi.org/10.3389/fmars.2022.978376>

Yamada, Y. (1941). Notes on some Japanese algae IX. *Scientific Papers of the Institute of Algological Research, Faculty of Science, Hokkaido Imperial University*. 2, 195-215.