

## ÇUKUROVA BÖLGESİ (ADANA-TÜRKİYE) İKLİM KOŞULLARININ *Spirulina platensis* (CYANOPHYTA)'İN C-FİKOSİYANİN MİKTARINA ETKİSİ

Hande Oğuz<sup>1</sup>, Oya Işık<sup>1</sup>, Leyla Hızarcı Uslu<sup>1\*</sup>, Selin Sayın<sup>2</sup>, Hilal Kargın Yılmaz<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Çukurova Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, Adana

<sup>2</sup> Mustafa Kemal Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Antakya

<sup>3</sup> Mersin Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Mersin

### Özet:

Mavi-yeşil alg *Spirulina platensis* kültürlerinde mevsime bağlı sıcaklık ve aydınlanma şiddetinin, mavi renkli pigment C-fikosiyanin ve protein içeriğine etkisini belirlemek amacıyla, dış ortam koşullarında, sera içerisinde fiber-glass havuzlarda Nisan, Temmuz ve Eylül aylarında yapılan denemelerde, C-fikosiyanin miktarı Sonbahar mevsiminde daha yüksek ( $332.7 \pm 1 \mu\text{g mL}^{-1}$ ) saptanırken, İlkbahar ve Yaz mevsiminde düşük ve benzer ( $327.5 \pm 2$  ve  $323.4 \pm 1 \mu\text{g mL}^{-1}$ ) bulunmuştur. Yaz ayı su sıcaklık ortalaması  $34.52 \pm 0.05^\circ\text{C}$  ile Sonbahar ve İlkbaharda saptanan su sıcaklıklarından ( $30.04 \pm 0.06^\circ\text{C}$  ve  $24.87 \pm 0.5^\circ\text{C}$ ) daha yüksek olmuştur. Mevsimlere göre aydınlanma şiddeti düzeylerine bakıldığında, Temmuz ayındaki aydınlanma şiddetinin ( $1195.08 \pm 29 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), Eylül ve Nisan aylarındaki denemelerde belirlenen aydınlık şiddeti değerlerinden ( $822.46 \pm 61$  ve  $684.40 \pm 13 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) yüksek olduğu görülmektedir. *Spirulina* biyomasında saptanan protein miktarı Sonbahar mevsiminde daha yüksek ( $72.09 \pm 1$ ), İlkbahar ve Yaz mevsiminde benzer ( $68.15 \pm 0.9$ ,  $66.16 \pm 0.3$ ) olmuştur. Nisan, Temmuz ve Eylül aylarında, *Spirulina platensis* kültürlerinde C-fikosiyanin ve protein içeriklerinde farklılıkların meydana geldiği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** *Spirulina platensis*, Dışarı kültür, Sıcaklık, Işık, C-fikosiyanin

Bu çalışma Çukurova Üniversitesi BAP Birimi tarafından desteklenmiş ve Yüksek Lisans tezinden özetlenmiştir.

### \* Correspondence to:

Leyla HIZARCI USLU, Çukurova Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü, Balcalı Kampüsü 01330 Adana -TÜRKİYE

Tel: (+90 322) 338 60 84/2065

Fax: (+90 322) 338 64 39

E-mail: [hizarcil@cu.edu.tr](mailto:hizarcil@cu.edu.tr)

**Abstract: The Effects of the Climatic Conditions of the Çukurova (Adana-Turkey) on the C-phycoyanin Pigments of *Spirulina platensis* (Cyanophyta)**

The experiments were carried out in the fiber-glass ponds in the greenhouse during the months of April, July and September in order to determine the effect of seasonal temperature and light intensity on the blue pigment C-phycoyanin and protein content of *Spirulina platensis*. While C-phycoyanin content was found higher in Autumn ( $332.7 \pm 1 \mu\text{g mL}^{-1}$ ), lower and similar in Spring and Summer ( $327.5 \pm 2$  and  $323.4 \pm 1 \mu\text{g mL}^{-1}$ ) respectively. The water temperature of Summer,  $34.52 \pm 0.05^\circ\text{C}$ , was found to be higher than the temperatures of Autumn ( $30.04 \pm 0.06$ ) and Spring ( $24.87 \pm 0.5^\circ\text{C}$ ). The light intensity of July ( $1195.08 \pm 29 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) was also found to be higher than the light intensity of September and April ( $822.46 \pm 61$  and  $684.40 \pm 13 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). The higher protein ratio ( $72.09 \pm 1$ ) was found in Autumn in *Spirulina* biomass and lower and similar protein ratios ( $68.15 \pm 0.9$ ,  $66.16 \pm 0.3$ ) were recorded in Spring and Summer respectively. It was concluded that C-phycoyanin and protein contents of *Spirulina platensis* cultures were different in April, July and September.

**Keywords:** *Spirulina platensis*, Outdoor culture, Temperature, Light, C-phycoyanin

## Giriş

Mavi-yeşil algler olarak tanınan *Cyanophyta* filumuna ait *Spirulina*, silindirik hücrelerden oluşan iplikli yapıda, gaz vakuelleri içeren prokaryotik bir mikroalgdir (Richmond, 1986). *Spirulina platensis* içerdiği metabolitleri sebebiyle besin değeri yüksek bir alg türüdür. Mavi-yeşil alg *Spirulina* %60-70 düzeyinde protein içeriği yanında B<sub>12</sub> ve E vitaminleri içermekte ve aynı zamanda yüksek düzeylerde demir ve kalsiyum içermesi sebebiyle dünyanın pek çok ülkesinde destek gıda olarak tüketilmektedir. *Cyanophyta* filumuna ait *Arthrospira* cinsi *Arthrospira platensis* (Nordst.) Gomont 1892 ya da sinonimi olarak da kabul edilen *Spirulina platensis* Geitler 1925 içerdiği mavi pigment fikosiyanın nedeniyle ticari öneme sahip bir mikroalg türüdür (Vonshak, 1997). Fotosentetik mikroalg *Spirulina*'nın pigment kompozisyonu genel olarak siyanobakterilerde olduğu gibidir. Bulunan tek klorofil, klorofil-*a*'dır ve miktarı kuru ağırlıkta %0.8-1.5 arasında değişmektedir. Soğukta kurutulmuş (freeze-dried) *Spirulina*'da ksantofil içeriği oldukça önemli düzeydedir ( $6.9 \text{ g kg}^{-1}$ ). Diğer başlıca karotenoidleri, miksoksantofil (%37), beta karoten (%28), zeaksanthin (%17)'dir (Paoletti ve ark., 1980). *Spirulina*'nın proteinleri içinde en yüksek ekonomik değere sahip olanları biliproteinlerdir. *Spirulina* C-fikosiyanın ve allofikosiyanın olmak üzere iki tip biliprotein içermektedir. Bu mikroalgin protein fraksiyonunun yaklaşık %20'si, suda çözünen mavi bir pigment olan C-fikosiyanın oluşmaktadır. Fikosiyanın maksimum absorpsiyonu  $620 \text{ nm}$ 'dir (Cohen, 1997).

Fikosiyanınin, gıda, ilaç ve kozmetik sanayilerinde, doğal bir pigment olarak, kanserojen ol-

duğundan şüphe edilen sentetik pigmentlerin yerini alabileceği bildirilmiştir (Cohen 1997; Sarada ve ark., 1999). Bu pigment ışığa olan hassasiyeti ile bilinmektedir. Bu sebeple pigmentin rengini kaybetmemesi için ürünün ışıktan korunması önemlidir. Güneşte kurutulmuş ürünün pigment içeriği düşük olmaktadır (Vonshak, 1997).

Günümüzde antioksidanlar insan besinlerine serbest radikallerin hücrelere verdiği zararları engellemek amacıyla eklenmektedir. Hidroksil radikallerinin yok olmasında fikosiyanınin büyük bir kısmını oluşturan fikobilinin görev aldığı belirlenmiştir (Zhou ve ark., 2005). Yürütülen çalışmalar, *Spirulina* ekstraktının serbest radikalleri (hidroksil ve peroksil) yok ettiğini ve mikrosomal lipid oksidasyonunu indirdiğini göstermiştir. Bu antioksidan aktivitesinin bir biliprotein olan fikosiyanınin kaynaklandığı belirlenmiştir (Est-rada ve ark., 2001).

Bu çalışma, fiziksel faktörlerden sıcaklık ve ışığın *S. platensis*'deki C-fikosiyanın miktarına etkisini belirlemek amacıyla planlanmış ve İlkbahar, Yaz ve Sonbahar mevsimlerinde yürütülmüştür.

## Materyal ve Metot

Denemede kullanılan *S. platensis* başlangıç kültürü Ben Gurion Üniversitesi, Negev, İsrail'den temin edilmiştir. Sera içerisinde,  $1 \text{ m}^3$  kapasiteli, fiber-glass 3 adet havuzun kullanıldığı denemede *S. platensis* üretiminde *Spirulina* ortamı kullanılmıştır (<http://www-cyano-site.bio.purdue.edu/media/table/sp.html>, 2010). Laboratuvar ortamında,  $30 \pm 1^\circ\text{C}$ 'de sabitlenmiş ve  $80 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ışık şiddetinde sürekli aydınlan-

manın sağlandığı koşullarda kültüre alınan *S. platensis* başlangıç olarak kullanılmıştır. 20 L hacmindeki stok kültürler aşılama işleminden 24 saat önce, dışarı ortam koşullarına uyum sağlaması için denemenin yürütüleceği sera ortamına taşınmıştır. Havuz hacmi 650 L tutulmuş ve %23 aşılama yapılmıştır.

Üç tekrarlı planlanan çalışma, İlkbahar mevsiminde Nisan ayında 14 gün, Yaz mevsiminde Temmuz ayında 8 gün ve Sonbahar mevsiminde Eylül ayında 15 günde tamamlanmıştır. Denemenin başladığı günden itibaren günlük olarak sıcaklık ( $\pm 0.2$  hassasiyetli termometre), pH (Hanna marka HI991001 model), aydınlık şiddeti (Radiation Sensor LI-COR Marka, LI-250 model), oksijen (WTW marka, Oxi 330i model) ve optik yoğunluk (SHIMADZU marka, -UV-VIS mini 1240 model) ölçümleri yapılmış, kuru madde, C-fikosiyanin ve klorofil-*a* analizleri yapılarak miktarları belirlenmiştir. Denemenin bitiminden sonra elde edilen biyomas, 50°C'de kurutularak ham protein analizi yapılmıştır.

Vollenweider ve ark. (1974)'nin bildirdiğine göre, klorofil tayin yöntemlerinde belirtildiği gibi çözücü sıvı olarak % 90'lık metanol kullanılmıştır. Toplam ham protein, Kjeldahl metoduna (AOAC, 1998) göre, kuru ağırlık tayini ise Vonshak (1997)'in belirttiği yöntemle yapılmıştır. C-fikosiyanin analizi Boussiba ve Richmond (1979)'a göre yapılmış ve optik yoğunluk 680 nm dalga boyunda belirlenmiştir (Costa ve ark., 2003).

### Bulgular ve Tartışma

Çukurova iklim koşullarında, *S. platensis*'in içerdiği C-fikosiyanin miktarına mevsim etkisini belirlemek amacıyla İlkbahar, Yaz ve Sonbahar mevsimlerinde yürütülen çalışmada sıcaklık (°C), aydınlanma şiddeti ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), pH, oksijen ( $\text{mgL}^{-1}$ ) ölçümleri yapılmış, optik yoğunluk, klorofil-*a* ( $\text{mgL}^{-1}$ ), C-fikosiyanin ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ ), protein (%) ve kuru ağırlık miktarları ( $\text{gL}^{-1}$ ) belirlenmiştir.

Üç mevsimde, optik yoğunluk değerleri benzerlik gösterirken ( $p > 0.05$ ), C-fikosiyanin, protein ve kuru madde miktarları arasında farklılık belirlenmiştir ( $p < 0.05$ ). C-fikosiyanin değerleri İlkbahar, Yaz ve Sonbahar mevsiminde sırasıyla  $327.5 \pm 2$ ,  $323.4 \pm 1$  ve  $332.7 \pm 1 \mu\text{g mL}^{-1}$  olarak bulunmuştur ( $p < 0.05$ ). Mevsimlere göre aydınlanma şiddeti düzeylerine bakıldığında, Temmuz ayındaki aydınlanma şiddetinin ( $1195.08 \pm 29 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), Eylül ve Nisan aylarındaki denemelerde belirlenen aydınlık şiddeti değerlerinden ( $822.46 \pm 61$  ve  $684.41 \pm 13 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) yüksek olduğu görülmekte ve üç mevsimde de farklılık olduğu saptanmıştır ( $p < 0.05$ ).

En yüksek protein oranı C-fikosiyaninin en yüksek olduğu Sonbahar mevsiminde bulunmuş ( $72.09 \pm 1$ ), Yaz ( $66.16 \pm 0.3$ ) ve İlkbahar ( $68.15 \pm 0.9$ ) mevsimlerine ait protein değerlerinden farklı olduğu belirlenmiştir ( $p < 0.05$ ). Temmuz ayında ortalama havuz sıcaklığının  $34.52 \pm 0.05^\circ\text{C}$  ile en yüksek olduğu belirlenirken, Eylül ve Nisan aylarının sıcaklıklarının, sırasıyla  $30.04 \pm 0.06^\circ\text{C}$  ve  $24.87 \pm 0.5^\circ\text{C}$  ile daha düşük oldukları belirlenmiştir ( $p < 0.05$ ).

Kuru madde miktarı en yüksek  $1.351 \pm 0.11 \text{ gL}^{-1}$  ile Yaz mevsiminde elde edilirken, İlkbahar ve Sonbahar mevsiminde sırasıyla  $1.036 \pm 0.06$  ve  $1.239 \pm 0.06 \text{ gL}^{-1}$  olarak elde edilmiştir ( $p < 0.05$ ). Bununla birlikte optik yoğunluk üç mevsimde de benzerlik göstermiş ( $p > 0.05$ ), İlkbahar, Yaz ve Sonbahar mevsiminde sırasıyla  $2.52 \pm 0.04$ ,  $2.59 \pm 0.1$  ve  $2.47 \pm 0.04$  olarak belirlenmiştir.

İlkbahar, Yaz ve Sonbahar mevsimlerinde elde edilen sıcaklık, aydınlık şiddeti, oksijen ve pH değerleri istatistiksel olarak mevsimlere göre karşılaştırılmış ve Tablo 1'de verilmiştir.

İlkbahar, Yaz ve Sonbahar mevsimlerinde elde edilen C-fikosiyanin, protein, klorofil-*a* ve optik yoğunluk değerleri istatistiksel olarak mevsimlere göre karşılaştırılmış ve Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 1.** İlkbahar, Yaz ve Sonbahar mevsimlerinde belirlenen sıcaklık, aydınlık şiddeti, oksijen ve pH değerleri (n=3).**Table 1.** The values of temperature, light intensity, oxygen and pH in seasons Spring, Summer and Autumn. (n=3)

|  | İlkbahar                | Yaz                     | Sonbahar                |
|--|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| <b>Sıcaklık (°C, Ortalama)</b>   | 24.87±0.5 <sup>c</sup>  | 34.52±0.05 <sup>a</sup> | 30.04±0.06 <sup>b</sup> |
| <b>Aydınlık Şiddeti (µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, Ortalama)</b> | 684.40±13 <sup>c</sup>  | 1195.08±29 <sup>a</sup> | 822.46±61 <sup>b</sup>  |
| <b>Oksijen (mgL<sup>-1</sup>, Ortalama)</b>                            | 12.36±0.44 <sup>a</sup> | 9.60±0.38 <sup>b</sup>  | 6.97±0.13 <sup>c</sup>  |
| <b>pH (Ortalama)</b>   | 9.88±0.044 <sup>a</sup> | 9.55±0.040 <sup>c</sup> | 9.70±0.049 <sup>b</sup> |

\*Aynı satırda farklı harflerle ifade edilenler arasında p<0.05 önem düzeyinde önemli bir fark vardır.

**Tablo 2.** İlkbahar, Yaz ve Sonbahar mevsimlerinde belirlenen C-fikosiyanin, protein, klorofil-a ve optik yoğunluk değerleri (n=3).**Table 2.** The values of C-phycoyanin, protein, chlorophyll-a and dry matter in Spring, Summer and Autumn (n=3).

|  | İlkbahar   | Yaz   | Sonbahar  |
|--|--|---|---|
| <b>C-fikosiyanin (µgmL<sup>-1</sup>),<br/>Başlangıç,<br/>Büyüme sonu,<br/>Ortalama</b> | 337.3±1 <sup>a</sup><br>327.5±2 <sup>b</sup><br>329.95±3 <sup>ab</sup> | 335.7±2 <sup>a</sup><br>323.4±1 <sup>b</sup><br>326.75±1 <sup>b</sup> | 342.5±2 <sup>a</sup><br>332.7±1 <sup>a</sup><br>332.71±1 <sup>a</sup> |
| <b>Protein (%) Büyüme sonu</b>   | 68.15±0.9 <sup>b</sup>   | 66.16±0.3 <sup>b</sup>  | 72.09±1 <sup>a</sup>  |
| <b>kl-a (mgL<sup>-1</sup>)<br/>Başlangıç,<br/>Büyüme sonu</b>                          | 0.67±0.04 <sup>b</sup><br>5.33±0.08 <sup>a</sup>                       | 0.82±0.05 <sup>a</sup><br>4.83±0.2 <sup>b</sup>                       | 0.67±0.01 <sup>b</sup><br>4.49±0.1 <sup>b</sup>                       |
| <b>Optik Yoğunluk (Abs680)<br/>Başlangıç,<br/>Büyüme sonu</b>                          | 1.00±0.01 <sup>b</sup><br>2.52±0.04 <sup>a</sup>                       | 1.21±0.05 <sup>a</sup><br>2.59±0.1 <sup>a</sup>                       | 1.19±0.02 <sup>a</sup><br>2.47±0.04 <sup>a</sup>                      |
| <b>Kuru Madde (gL<sup>-1</sup>)<br/>Başlangıç<br/>Büyüme sonu</b>                      | 0.565±0.03 <sup>c</sup><br>1.036±0.06 <sup>b</sup>                     | 0.751±0.05 <sup>b</sup><br>1.351±0.11 <sup>a</sup>                    | 0.952±0.03 <sup>a</sup><br>1.239±0.06 <sup>ab</sup>                   |

\*Aynı satırda farklı harflerle ifade edilenler arasında p<0.05 önem düzeyinde önemli bir fark vardır.

*S. platensis*, içerdiği değerli metabolitleri nedeniyle insan sağlığı için ve yem katkı maddesi olarak ticari üretimi yapılan bir mikroalg türüdür. Suptropik bölgelerde yıl boyu *Spirulina* kültürü yapılabilmekle birlikte mevsime bağlı iklim değişikliği nedeniyle ürün verimliliğinde az da olsa dalgalanmalar olabilmektedir. Sıcaklığın 20°C ve altında olduğu dönemlerde sıcaklık düşüşüne bağlı olarak kısmi hasat 5 ila 10 günde bir yapılabilmektedir. Dış ortamdaki kültürlerde mevsime bağlı sıcaklık ve ışık şiddetindeki değişimin *S. platensis* hücrelerinin biyokimyasal yapısına olan etkileri Çukurova Bölgesi için belirlenmiş olmakla birlikte (Işık ve ark., 2006; Hızarcı Uslu ve ark., 2009) mavi pigment C-fikosiyanin içeriğine olan etkisi yürütülen bu çalışma ile saptanmaya çalışılmıştır.

İlkbahar, Yaz ve Sonbahar mevsimlerinde dış ortamda kültüre alınan *S. platensis* biyomasındaki C-fikosiyanin pigmenti miktarının mevsime göre etkilenip etkilenmediğini belirlemek üzere planlanan çalışmada, İlkbahar, Yaz ve Sonbahar dönemindeki kültürlerde büyüme periyodu sonunda C-fikosiyanin miktarları karşılaştırılmıştır. Nisan, Temmuz ve Eylül aylarında, kültürlerde ortalama C-fikosiyanin miktarları sırasıyla 327.5 ±2, 323.4 ±1 ve 332.7 ±1 µgmL<sup>-1</sup> olarak belirlenmiş ve Eylül ayında yüksek bulunmuştur. Temmuz ayında ortalama havuz sıcaklığının 34.52 ±0.05°C ile yüksek olduğu belirlenirken, Eylül ve Nisan ayları ortalama sıcaklıklarının sırasıyla 30.04 ±0.06°C ve 24.87 ±0.5°C ile daha düşük oldukları belirlenmiştir. Chen ve Zhang, 1997 yılında yaptıkları çalışmada *S. platensis* kesikli kültürü 30°C'de tutulmuş ve 80-160 µmol

$m^{-2} s^{-1}$ 'de sürekli aydınlanma sağlanmıştır. Çalışmada fotoototrofik kesikli kültürde maksimum fikosiyanın üretimi  $280 mgL^{-1}$  olarak saptanmış ve biyomas yoğunluğu  $2.0 gL^{-1}$  olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada, Eylül ayında  $30.04 \pm 0.06^{\circ}C$ 'de belirlenen C-fikosiyanın miktarı  $332.71 \pm 1 \mu g mL^{-1}$ , kuru madde değeri ise  $1.239 \pm 0.06 gL^{-1}$  dir. Benzer sıcaklıkta çalışılmış olmakla birlikte aydınlanma şiddetleri oldukça farklıdır. Fikosiyanın içeriğinin bu çalışmadaki  $822.46 \pm 61 \mu mol m^{-2} s^{-1}$  aydınlanmada,  $160 \mu mol m^{-2} s^{-1}$  ve  $684.40 \pm 13 \mu mol m^{-2} s^{-1}$  aydınlanmaya göre daha yüksek miktarda olduğu, bununla birlikte  $1195.08 \pm 29$  aydınlanmada fikosiyanın içeriğinde düşüş olduğu görülmektedir. Yapılan bir başka çalışmada düşük ( $<15^{\circ}C$ ) ve yüksek sıcaklıklarda ( $>47^{\circ}C$ ) fikobiliprotein içeriğinin düştüğü belirtilmiştir (Chaneva ve ark., 2007).

Sıcaklığın  $30.04 \pm 0.06^{\circ}C$  ve aydınlanma şiddetinin  $822.46 \pm 61 \mu mol m^{-2} s^{-1}$  olduğu Sonbahar döneminde C-fikosiyanın miktarı yüksek bulunmuş, protein miktarı da %72.09 olarak en yüksek bu mevsimde saptanmıştır. Bu bulgu fikobiliprotein olan ve protein moleküllerinden ayrılmayan fikosiyanın yapısını desteklemektedir. Optik yoğunluk ölçümleri ve kuru madde analizleri sonucunda ise İlkbahar döneminde verimliliğin düşük olduğu, Yaz ve Sonbahar döneminde ise daha yüksek olduğu belirlenmiştir. İlkbahar, Yaz ve Sonbahar mevsimlerinde hacimsel olarak litrede sırasıyla  $0.565 \pm 0.03$ ,  $0.751 \pm 0.05$  ve  $0.952 \pm 0.03$  g biyomas ile denemelere başlanmıştır. İlkbahar 14, Yaz 8 ve Sonbahar 15 gün süren denemeler sonunda elde edilen biyomas verimlilikleri sırasıyla  $1.036 \pm 0.06$ ,  $1.351 \pm 0.11$  ve  $1.239 \pm 0.06 gL^{-1}$  olarak bulunmuştur. Buna göre en yüksek verim Yaz mevsiminde,  $34.52 \pm 0.05^{\circ}C$  sıcaklıkta ve  $1195.08 \pm 29 \mu mol m^{-2} s^{-1}$  aydınlık şiddetinde elde edilmiştir. Belirlenen en yüksek aydınlanma Yaz ayında saptanmış olup, aynı mevsimde kl-a ve C-fikosiyanın düzeylerinin, istatistiksel olarak çok farklı görülmesi de nisbeten düşük olduğu saptanmıştır. Klorofil-a düzeylerinin en yüksek olduğu İlkbahar mevsiminde aydınlık şiddetinin en düşük olduğu görülmüştür. Kuru madde miktarının en yüksek Yaz, C-fikosiyanın ve protein miktarının en yüksek Sonbahar mevsiminde saptanmış olması, hücre içi pigmentasyon durumunun aydınlık şiddeti ile etkilendiği, kuru madde verimliliklerinin bundan etkilenmediği düşünülmektedir. *S. platensis* için bilinen optimum kültür sıcaklığı  $35-37^{\circ}C$ 'dir (Vonshak ve Torzillo, 2004). Tomaselli ve ark. (1988) yürüttükleri çalı-

ışmada,  $42^{\circ}C$  sıcaklıktaki üretimlerde  $35^{\circ}C$ 'dekilere oranla protein oranında %22 düşüş olduğunu belirtmişlerdir. Kuru ve Cirik (2003) yürüttükleri bir çalışmada, laboratuvar koşullarında *S. platensis*'te 2000 lux. ışık şiddetinin ve  $28^{\circ}C$ 'den  $45^{\circ}C$ 'ye kadar olan sıcaklıkların büyüme ve metabolizmaya etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, su sıcaklığı  $43^{\circ}C$  olduğunda, protein içeriğinde %20 gibi önemli bir azalma gerçekleştiğini *S. platensis*'in yoğun üretiminde  $35^{\circ}C$ 'deki sıcaklık değerlerinin biyokimyasal yapı ve büyüme için en uygun olduğunu saptamışlardır. Yapılan bir başka çalışmada sera içinde bulunan farklı kültür düzeneklerinde üretilen *Spirulina*'nın büyüme özellikleri karşılaştırılmıştır. Denemede, şeffaf bidonlar, polietilen torbalar ve ark tipi havuzlar olmak üzere üç tip kültür düzenegi kullanılmıştır. Kültür sıcaklığının daha yüksek olması nedeniyle, bidon kültürlerinde daha yüksek hücre yoğunluğuna ulaşılmıştır. Deneme sonunda ölçülen protein miktarları bidon, torba ve havuz kültürleri için sırasıyla %33.4, %54.5 ve %58.3 olarak belirlenmiştir. Bidon kültürlerindeki protein miktarının diğerlerine göre çok daha düşük oranda bulunmasının nedeni, büyümenin daha hızlı olması ve kültürün durgunluk safhasında fazla kalması nedeniyle ortamdaki azotun tüketilmesi olduğu bildirilmiştir (Göksan ve ark., 2007).

Çalışmada çözünmüş  $O_2$  değerlerine bakıldığında, en yüksek ortalama değerin ( $12.36 \pm 0.44 mgL^{-1}$ ) Nisan ayında belirlendiği görülmektedir. Oksijenin, fotorespirasyon yoluyla fazla enerjinin dağıtılması sırasında fotosentetik aparatları koruyabildiği fakat daha sonra oluşan reaksiyonda üretilen zararlı oksijen radikallerinin fotosentetik yapılar üzerinde potansiyel tahrip edici etkisi olabileceği bildirilmektedir (Richmond, 2004). Oksijenin engelleyici etkisi ilk olarak Richmond (2004)'ün bildirdiğine göre Torzillo ve ark., (1984) tarafından *Spirulina maxima* büyümesi üzerinde gösterilmiştir. Vonshak ve Torzillo (2004), yürüttükleri çalışmalarında  $36 mgL^{-1}$  düzeyindeki oksijenin *Spirulina* kültürlerinde fotosentez ve büyümeyi engellediğini saptamışlardır. Bu çalışmadaki denemelerde oksijen değerinin kültürde büyümeyi engelleyici düzeyde olmadığı görülmektedir.

*Arthrospira* spp. zorunlu alkalofil bir canlıdır. En iyi büyüme oranı pH 9.5-9.8'de elde edilmektedir. Bu çalışmada Nisan, Temmuz ve Eylül aylarında oluşturulan kültürlerde ortalama pH değerleri farklı bulunmuş ve sırasıyla 9.88

$\pm 0.044$ ,  $9.55 \pm 0.040$  ve  $9.70 \pm 0.049$  olarak kaydedilmiştir. Ölçülen pH değerlerinin *Spirulina* için gereken pH 9-11 optimum sınırlarına çok yakın oldukları görülmektedir (Richmond, 2004).

### Sonuç

Antioksidan özelliği olan, gıda sektöründe doğal boya maddesi olarak kullanılan mavi pigment C-fikosiyanin içeriği ile bilinen *S. platensis* kültürlerinde mevsime bağlı farklı sıcaklık ve aydınlanma şiddeti değerlerinin bu metabolit miktarı üzerindeki etkisini belirlemek üzere Çukurova bölgesinde gerçekleştirilen bu çalışmada, en yüksek C-fikosiyanin ve protein içeriği  $30.04 \pm 0.06^\circ\text{C}$  sıcaklıkta ve  $822.46 \pm 61 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  aydınlık şiddeti ile Sonbahar mevsiminde saptanmıştır. Yaygın olarak destek gıda amacıyla kullanılan *Spirulina* kültüründe fikosiyanin içeriği ve biyomas verimliliği bakımından genel olarak her üç mevsim de uygun olmakla birlikte protein ve C-fikosiyanin düzeyinin Sonbaharda ( $30.04 \pm 0.06^\circ\text{C}$  ve  $822.46 \pm 61 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) kuru madde miktarının ise Yaz döneminde ( $34.52 \pm 0.05$  ve  $1195.08 \pm 29$ ) daha iyi olduğu görülmektedir.

### Kaynaklar

- AOAC, (1998). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 15. th. Edition, Williams, S. (Ed), Arlington, Virginia.
- Boussiba, S., Richmond, A., (1979). Isolation and Characterization of Phycocyanin From the Blue-Green Alga *Spirulina platensis*, *Archives of Microbiology*, **120**: 155-159. [doi:10.1007/BF00409102](https://doi.org/10.1007/BF00409102)
- Chaneva, G., Furnadzhieva, S., Minkova, K., Lukavsky, J., (2007). Effect of Light and Temperature on the Cyanobacterium *Arthonema africanum* a Propective Phycobiliprotein Producing Strain, *Journal of Applied Phycology*, **19**(5): 537-544. [doi:10.1007/s10811-007-9167-6](https://doi.org/10.1007/s10811-007-9167-6)
- Chen, F., Zhang, Y., (1997). High Cell Density Mixotrophic Culture of *Spirulina platensis* on Glucose for Phycocyanin Production Using a Fed-Batch System, *Enzyme and Microbial Technology*, **20**: 221-224. [doi:10.1016/S0141-0229\(96\)00116-0](https://doi.org/10.1016/S0141-0229(96)00116-0)
- Cohen, Z., (1997). The Chemicals of *Spirulina*, In: Vonshak, A.(Ed.), *Spirulina platensis* (Arthrospira): Physiology, Cell Biology and Biotechnology, Taylor and Francis, 175-204, London.
- Costa, J.A.V., Colla, L.M., Duarte Filho, P., (2003). *Spirulina platensis* growth in open raceway ponds using fresh water supplemented with carbon, nitrogen and metal ions, *Zeitschrift für Naturforschung*, **58c**: 76-80.
- Estrada, J.P.E., Bescos, P.B., Fresno, A.M.V., (2001). Antioxidant Activity of Different Fractions of *Spirulina platensis* Protean Extract, *Il Farmaco*, **56**: 497-500. [doi:10.1016/S0014-827X\(01\)01084-9](https://doi.org/10.1016/S0014-827X(01)01084-9)
- Göksan, T., Zekeriyaoğlu, A., Ak, İ., (2007). The Growth of *Spirulina platensis* in different Culture Systems Under Greenhouse Condition, *Turkish Journal of Biology*, **31**: 47-52.
- Hızarcı Uslu, L., Işık, O., Sayın, S., Durmaz, Y., Göksan, T., Gökpinar, Ş., (2009). The Effect of Temperature on Protein and Amino Acid Composition of *Spirulina platensis*, *Ege University Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **26**(2): 139-142. <http://www-cyano-site.bio.purdue.edu/media/table/sp.html>, (2010).
- Işık, O., Hızarcı, L., Sayın, S., Gökpinar, Ş., Durmaz, Y., Göksan, T., (2006). The Effect of the Environmental Factors on the Vitamin C (Ascorbic Acid), E (Alpha-tocopherol),  $\beta$ -carotene Contents and the Fatty Acid Composition of *Spirulina platensis*, *Ege University Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **23**(3-4): 257-261.
- Koru, E., Cirik, S., (2003). *Spirulina platensis* (Cyanophyceae) Mikroalg'inin Büyümesine ve Bazı Biyokimyasal Özelliklerine Sıcaklığın Etkisi, *Ege University Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **20**(3-4): 419-422.
- Paoletti, C., Vincenzini, M., Boci, F., Materassi, R., (1980). Composizione Biochimica Generale delle Biomasse di *Spirulina platensis* e *S. maxima* in Materassi. In: R.(Ed.) Prospettive della Coltura di *Spirulina* in Italia. Rome: Consiglio Nazionale delle Ricerche, 111-125.
- Richmond, A., (1986). Microalgae of Economic Potential. In: A. Richmond (Ed). Handbook of Microalgal Mass Cultures of Microalgae.

- CRC Press, Inc., 201-283, Boca Raton, Florida.
- Richmond, A., (2004). Biological Principles of Mass Cultivation. In: A. Richmon (Ed), Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology, Blackwell Science Ltd., 125-177, Oxford/UK.
- Sarada, R., Pillai, M.G., Ravishankar, G.A., (1999). Phycocyanin from *Spirulina* sp: Influence of Processing of Biomass on Phycocyanin Yield, Analysis of Efficiency of Extraction Methods and Stability Studies on Phycocyanin, *Process Biochemistry*, **34**(8): 795-801.  
[doi:10.1016/S0032-9592\(98\)00153-8](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(98)00153-8)
- Tomaselli, L., Giovannetti, L., Sacchi, A., Bocci, F., (1988). Effect of Temperature on Growth and Biochemical Composition in *Spirulina platensis* Strain M2. (T. Stadler, J. Millon, M.C. Verdus, Y. Karamanos, H. Morvan and D. Christian Editör), *Algal Biotechnology*, **521**: 305-314.
- Torzillo, G., Giovannetti, L., Bocci, F., Matarassi, R., (1984). Effect of oxygen concentration on the protein content of *Spirulina* biomass, *Biotechnology and Bioengineering*, **26**: 1134-1135.  
[doi:10.1002/bit.260260920](https://doi.org/10.1002/bit.260260920)
- Vonshak, A., Torzillo, G., (2004). Environmental Stress Physiology. In: A. Richmon (Ed), Handbook of Microalgal Culture, Biotechnology and Applied Phycology, Blackwell Science Ltd., 57-82, Oxford/UK.
- Vonshak, A., (1997). Morphology, Ultrastructure and Taxonomy of *Arthrospira* (*Spirulina*): The Basic Concept. In: L. Tomoselli (Ed), *Spirulina platensis* (*Arthrospira*) Physiology, Cell Biology and Biotechnology. Taylor&Francis Ltd. pp.1-15, Great Britain.
- Vollenweider, A.R., (1974). A Manual on Methods for Measuring Primary Production in Aquatic Environments. Burges and Son Lmt., Oxford, 72 p.
- Zhou, Z.P., Liu, L.N., Chen, X.L., Wang, J.X., Chen, M., Zhang, Y.Z., Zhou, B.C., (2005). Factors that Effect Antioxidant Activity of CPhycocyanins from *Spirulina platensis*, *Journal of Food Biochemistry*, **29**: 313-322.  
[doi:10.1111/j.1745-4514.2005.00035.x](https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.2005.00035.x)